

工程设计与分析系列

# LS-DYNA 有限元分析及仿真

唐长刚 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

LS-DYNA 软件广泛应用于工程领域,它非常适合分析结构冲击、爆炸等问题。本书共分为 10 章,介绍了 LS-DYNA 软件的基本功能和使用方法,主要包括几何模型的建立、网格划分、接触、载荷、刚体、重启动、后处理及工程应用实例。对于各个知识点本书通过实例进行说明,且实例中有简明叙述与充足的演示图片。本书中的相关例题皆为在 ANSYS 14.0 软件包中 ANSYS/LS-DYNA 模块里进行前处理和求解计算,在 LS-PREPOST 3.2 中进行后处理。

书中实例由浅入深,实用性强,而且配套光盘中有实例操作过程的视频讲解,既可方便初学者快速入门,又能为有一定基础的读者提供实际的应用指导。

本书既可作为机械、汽车、船舶、桥梁、航空航天、电子等相关专业本科生的自学教程,也可作为工程技术人员使用 LS-DYNA 的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

LS-DYNA 有限元分析及仿真/唐长刚编著. —北京:电子工业出版社,2014.2  
(工程设计与分析系列)  
ISBN 978-7-121-22154-5

I. ①L… II. ①唐… III. ①有限元分析—应用程序 IV. ①O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 301656 号

策划编辑:许存权

责任编辑:康 霞

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:21 字数:537.6 千字

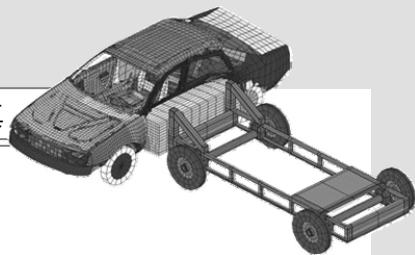
印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数:3 500 册 定价:59.00 元(含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。



## 前 言

LS-DYNA 是目前公认的最优秀的显性动力分析有限元软件。该软件特别适合于求解结构的非线性高速碰撞、爆炸等动态冲击问题。LS-DYNA 程序可以高效地处理几何非线性、材料非线性及接触非线性。该程序强于使用 Lagrange 算法进行显示结构动力分析，程序也兼有 ALE 和 Euler 算法、隐式分析功能、热分析和流体-固体耦合分析功能、静力分析功能。LS-DYNA 程序具有丰富的材料库、接触算法，可以满足大量科学与工程仿真分析的需要。目前，LS-DYNA 软件广泛应用于工程领域。

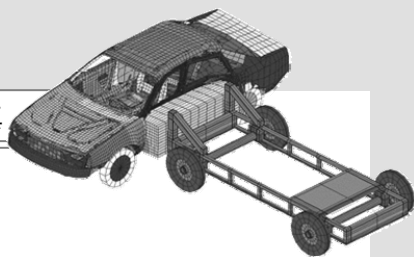
本书共有 10 章。第 1 章为概述，介绍 LS-DYNA 的总体功能，并通过一个实例演示了使用 LS-DYNA 进行仿真分析的完整过程（包括前处理、求解、后处理）。第 2 章~第 6 章分别介绍前处理的几个主要部分：第 2 章介绍建立几何模型的方法；第 3 章介绍网格划分的知识；第 4 章介绍接触设置；第 5 章介绍载荷；第 6 章介绍刚体方面的知识。在这些章节中，作者首先简要介绍相关知识点，紧接着用实例来提高学习者的软件使用技能。每一章都有一个具有完整前处理操作过程的例题（有的还有后处理过程）。这样就使得学习者不但能对相关知识点进行有重点的练习，还能不断地提高整体建模技能，不断熟悉仿真分析的全过程。第 7 章介绍求解过程中非常有用的重启动功能。第 8 章详细介绍后处理软件 LS-PREPOST。第 9 章由两个工程实例提出在实际应用中需要注意的问题。第 10 章通过两个工程实例进一步演示了前处理软件的使用方法及功能细节。

各章节循序渐进地介绍软件的操作方法。每一章的例题都具有独立性，读者可以单独上机演练各个例题。各个例题附有充足的演示图片及简要的文字说明。作者结合实例逐步介绍与软件设置相关的一些重要概念，以便读者对相关设置有清晰的理解。

本书使用 ANSYS 14.0 软件包中的 ANSYS/LS-DYNA 模块进行仿真分析的前处理和求解，使用 LS-PREPOST 3.2 软件进行后处理。为了照顾使用低版本 ANSYS 的用户，本书作者用 ANSYS 10.0 软件包中的 ANSYS/LS-DYNA 模块对书中的所有例题进行了前处理或求解。对于 ANSYS 10.0 与 ANSYS 14.0 中的少量不同之处作者在相关例题中给出了简要说明。为了不引起混乱，本书默认使用 kg-m-s 制国际单位。

本书主要由唐长刚完成，参加本书编写和光盘开发的还有谢龙汉、林伟、魏艳光、林木议、王悦阳、林伟洁、林树财、郑晓、吴苗、李翔、莫衍、朱小远、唐培培、耿煜、尚涛、邓奕、张桂东、鲁力、刘文超、刘新东等，同时也非常感谢拓技工作室其他成员的帮助和支持。由于时间仓促，书中难免有疏漏之处，请读者谅解。读者可通过电子邮件 [tenlongbook@163.com](mailto:tenlongbook@163.com) 与我们交流。

编著者  
2013 年 11 月



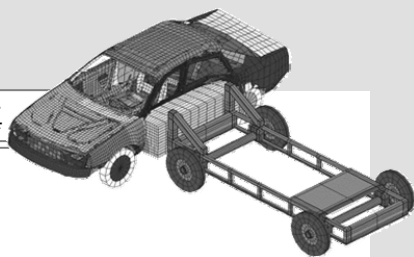
## 目 录

|                             |    |                                  |     |
|-----------------------------|----|----------------------------------|-----|
| 第 1 章 概述 .....              | 1  | 2.10.2 相加 .....                  | 45  |
| 1.1 LS-DYNA 软件简介 .....      | 2  | 2.10.3 胶结 .....                  | 46  |
| 1.2 操作界面 .....              | 2  | 2.10.4 重叠 .....                  | 48  |
| 1.3 LS-DYNA 的操作步骤 .....     | 3  | 2.10.5 分离 .....                  | 49  |
| 1.3.1 一个例题引出的问题 .....       | 3  | 2.10.6 相减 .....                  | 51  |
| 1.3.2 LS-DYNA 前处理软件 .....   | 4  | 2.11 实例 1——建立空心体模型 .....         | 54  |
| 1.3.3 LS-DYNA 后处理软件 .....   | 4  | 2.12 实例 2——建立壳体模型 .....          | 56  |
| 1.4 入门引例——两杆的碰撞问题 .....     | 4  | 2.13 实例 3——复合梁的碰撞问题 .....        | 60  |
| 1.4.1 问题描述 .....            | 5  | 2.14 小结 .....                    | 88  |
| 1.4.2 进入 LS-DYNA 前处理器 ..... | 5  | 第 3 章 网格划分 .....                 | 89  |
| 1.4.3 建立模型 .....            | 7  | 3.1 LS-DYNA 单元类型 .....           | 90  |
| 1.4.4 划分单元 .....            | 12 | 3.1.1 实体单元 .....                 | 90  |
| 1.4.5 工况设置 .....            | 17 | 3.1.2 板壳单元 .....                 | 99  |
| 1.4.6 求解设置 .....            | 18 | 3.1.3 其他单元 .....                 | 111 |
| 1.4.7 后处理 .....             | 23 | 3.2 单元的选取 .....                  | 118 |
| 1.5 小结 .....                | 25 | 3.3 单元的实常数 .....                 | 119 |
| 第 2 章 建立几何模型 .....          | 26 | 3.4 单元属性定义 .....                 | 121 |
| 2.1 LS-DYNA 模型分类 .....      | 27 | 3.5 单元的大小控制 .....                | 124 |
| 2.1.1 实体模型 .....            | 27 | 3.6 自由划分与映射单元 .....              | 126 |
| 2.1.2 板壳模型 .....            | 27 | 3.7 单元的删除 .....                  | 126 |
| 2.1.3 其他模型 .....            | 27 | 3.8 离散单元的设置 .....                | 130 |
| 2.2 关键点的建立 .....            | 27 | 3.9 工程实例 1——金属物体坠落的碰撞问题 .....    | 130 |
| 2.3 线的建立 .....              | 28 | 3.10 工程实例 2——复杂物体的网格划分 .....     | 136 |
| 2.4 面的建立 .....              | 29 | 3.11 工程实例 3——管道受横向撞击时的变形过程 ..... | 140 |
| 2.5 体的建立 .....              | 31 | 3.12 小结 .....                    | 154 |
| 2.6 模型的删除 .....             | 34 | 第 4 章 接触 .....                   | 155 |
| 2.7 由下到上建模 .....            | 36 | 4.1 LS-DYNA 接触类型 .....           | 156 |
| 2.8 由上到下建模 .....            | 38 |                                  |     |
| 2.9 复制与移动 .....             | 40 |                                  |     |
| 2.10 布尔运算 .....             | 41 |                                  |     |
| 2.10.1 分割 .....             | 41 |                                  |     |



|                                  |     |  |     |
|----------------------------------|-----|--|-----|
| 4.1.1 单面自动接触 .....               | 156 | 7.5 k 文件的修改 .....                      | 238 |
| 4.1.2 面面自动接触 .....               | 156 | 7.6 进入重启动 .....                        | 240 |
| 4.2 生成零件 (Part) .....            | 157 | 7.7 工程实例 1——简单重启动的<br>操作方法 .....       | 241 |
| 4.3 生成部件 (Component) .....       | 158 | 7.8 工程实例 2——小型重启动的<br>操作方法 .....       | 243 |
| 4.4 接触类型的选取 .....                | 159 | 7.9 工程实例 3——使用 k 文件<br>修改仿真模型的方法 ..... | 245 |
| 4.5 删除接触 .....                   | 161 | 7.10 小结 .....                          | 248 |
| 4.6 边界条件与初速度 .....               | 162 | 第 8 章 后处理 .....                        | 249 |
| 4.7 工程实例 1——球面与平板的<br>接触 .....   | 164 | 8.1 LS-PREPOST 后处理软件 .....             | 250 |
| 4.8 工程实例 2——柱壳与球壳的<br>自动接触 ..... | 171 | 8.2 操作界面 .....                         | 250 |
| 4.9 工程实例 3——控制沙漏 .....           | 184 | 8.3 k 文件的导入 .....                      | 251 |
| 4.10 小结 .....                    | 195 | 8.4 导入后处理文件 .....                      | 251 |
| 第 5 章 载荷 .....                   | 196 | 8.5 视频设置 .....                         | 251 |
| 5.1 载荷的分类 .....                  | 197 | 8.6 视频输出 .....                         | 252 |
| 5.2 建立载荷数组 .....                 | 197 | 8.7 查看各种结果 .....                       | 252 |
| 5.3 给 Component 施加载荷 .....       | 198 | 8.8 图片编辑 .....                         | 253 |
| 5.4 给刚体施加载荷 .....                | 198 | 8.9 输出数据文件 .....                       | 253 |
| 5.5 删除载荷 .....                   | 198 | 8.10 工程实例 1——圆管撞击<br>方管 .....          | 255 |
| 5.6 工程实例 1——应力波在杆中的<br>传播 .....  | 199 | 8.11 工程实例 2——双层同心圆柱<br>撞击方管 .....      | 258 |
| 5.7 工程实例 2——刚性板压缩<br>圆管 .....    | 210 | 8.12 小结 .....                          | 264 |
| 5.8 小结 .....                     | 217 | 第 9 章 综合实例 A .....                     | 265 |
| 第 6 章 刚体 .....                   | 218 | 9.1 综合实例 1——船舶撞击桥墩 .....               | 266 |
| 6.1 刚体的作用 .....                  | 219 | 9.1.1 问题描述 .....                       | 266 |
| 6.2 应用刚体时的注意事项 .....             | 219 | 9.1.2 进入 LS-DYNA 前处理器 .....            | 266 |
| 6.3 刚体材料的选取与约束的设定 .....          | 219 | 9.1.3 建立模型 .....                       | 267 |
| 6.4 初始条件设置 .....                 | 220 | 9.1.4 划分单元 .....                       | 269 |
| 6.5 工程实例——落锤冲击方管的<br>过程 .....    | 221 | 9.1.5 工况设置 .....                       | 269 |
| 6.6 小结 .....                     | 233 | 9.1.6 求解设置 .....                       | 270 |
| 第 7 章 重启动 .....                  | 234 | 9.1.7 后处理 .....                        | 270 |
| 7.1 重启动的作用 .....                 | 235 | 9.2 综合实例 2——电子产品跌落<br>分析 .....         | 271 |
| 7.2 重启动的分类 .....                 | 235 | 9.2.1 问题描述 .....                       | 271 |
| 7.3 查看计算时间 .....                 | 235 | 9.2.2 进入 LS-DYNA 前处理器 .....            | 272 |
| 7.4 写重启动文件 .....                 | 237 | 9.2.3 建立模型 .....                       | 273 |

|                              |     |                              |     |
|------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 9.2.4 划分单元 .....             | 275 | 10.1.5 工况设置 .....            | 286 |
| 9.2.5 工况设置 .....             | 276 | 10.1.6 求解设置 .....            | 292 |
| 9.2.6 求解设置 .....             | 276 | 10.1.7 后处理 .....             | 298 |
| 9.2.7 后处理 .....              | 277 | 10.2 综合实例 2——板壳冲压成型 .....    | 300 |
| 9.3 小结 .....                 | 277 | 10.2.1 问题描述 .....            | 300 |
| 第 10 章 综合实例 B .....          | 278 | 10.2.2 进入 LS-DYNA 前处理器 ..... | 301 |
| 10.1 综合实例 1——高层框架结构          |     | 10.2.3 完善模型 .....            | 302 |
| 抗震分析 .....                   | 279 | 10.2.4 划分单元 .....            | 306 |
| 10.1.1 问题描述 .....            | 279 | 10.2.5 工况设置 .....            | 309 |
| 10.1.2 进入 LS-DYNA 前处理器 ..... | 280 | 10.2.6 求解设置 .....            | 320 |
| 10.1.3 完善模型 .....            | 281 | 10.2.7 后处理 .....             | 323 |
| 10.1.4 划分单元 .....            | 284 | 10.3 小结 .....                | 327 |



## 第 1 章 概 述

LS-DYNA 是一款著名的显示动力分析有限元程序。该程序特别适用于求解二维、三维非线性结构高速碰撞、爆炸等冲击动力问题。同时该软件也能进行传热分析及流体-固体耦合分析。在工程领域 LS-DYNA 软件包被广泛使用。



### 本章内容

- |                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| ✎ LS-DYNA 软件介绍       | ✎ 仿真分析的基本步骤     |
| ✎ ANSYS/LS-DYNA 操作界面 | ✎ 分析实例——两杆的碰撞问题 |

## 1.1 LS-DYNA 软件简介

1976 年 J.O.Hallquist 博士主持开发完成 DYNA 程序系列。该程序主要为武器设计提供分析工具。1988 年 J.O.Hallquist 创建 LSTC 公司, 推出 LS-DYNA 程序。该程序包括 LS-DYNA2D、LS-DYNA3D、LS-NIKE2D、LS-NIKE3D、LS-TOPAZ2D、LS-TOPAZ3D 等。经过不断完善, LS-DYNA 的新版本陆续推出: 930 版(1993 年)、936 版(1994 年)、940 版(1997 年)、960 版(2001 年)、970 版(2003 年)、971 版(2007)。目前, ANSYS 14.0 软件包中包含了 LS-DYNA 的最新版本。

目前, LS-DYNA 的功能比较齐全: 它能够高效地处理几何非线性(大位移、大转动、大应变)、材料非线性及接触非线性。该程序强于使用 Lagrange 算法进行显示结构动力分析, 程序也兼有 ALE 和 Euler 算法、隐式分析功能、热分析和流体-固体耦合分析功能、静力分析功能。

## 1.2 操作界面

LSTC 公司与 ANSYS 公司合作于 1996 年推出了 ANSYS/LS-DYNA。LS-DYNA 的分析能力大大提高, 用户可以在 ANSYS/LS-DYNA 中进行建模、求解、查看仿真结果等。

本书中的所有例题都是在 ANSYS 14.0 软件包中的 ANSYS/LS-DYNA 模块下进行建模和求解的。下面简要介绍 ANSYS/LS-DYNA 模块的操作界面(见图 1-1)。至于各菜单内命令的使用方法作者将在本书各章的实例中具体介绍。



图 1-1 ANSYS LS-DYNA 操作界面

(1) 功能菜单 (Utility Menu) 主要功能有导入文件、对模型中的元素进行选择、对模型中的各种信息进行列表显示、控制模型的图像显示、切换坐标系、建立数组等。其中“Help”菜单给用户提供了比较详细的指导。初学者最好能在“Help”中浏览一下“ANSYS/LS-DYNA”的相关目录。

(2) 标准菜单用于建立新文件、打开或保存文件等。

(3) 命令窗口中可以直接输入命令。用户可以用这种方法进行建模,但本书不使用这种方法。本书使用 GUI (图形用户界面) 方式。用户不用记住各种命令,只需在操作界面上打开各种命令窗口就可以。

(4) 工具条中的“RESUM\_DB”(撤销)命令很常用。单击一次该按钮,整个文件返回到上次保存时的状态。

(5) 主菜单可以用于建模、求解及后处理,但在本书中主菜单只用来建模。

(6) 图形界面显示出建立好的几何模型。

(7) 视图工具条可以调整图形窗口中几何模型的观察方位及实现放大缩小、移动等功能。

## 1.3 LS-DYNA 的操作步骤

用 LS-DYNA 软件进行仿真分析主要有三大步骤:(1) 建模,也可称为前处理,主要功能为建立几何模型、设置模型的材料属性、划分网格、施加载荷及初速度、施加边界条件、定义接触、进行输出设置等。(2) 求解。这个任务主要由程序自行处理。根据模型的大小及计算机的性能,完成求解的时间可以从数秒直至几个月。(3) 后处理。后处理包括查看仿真动画,提取有用数据及对数据进行处理等。

### 1.3.1 一个例题引出的问题

如图 1-2 所示,一个空心球壳以 6m/s 的初速度撞击在一根两端固定的矩形截面梁的中部。要求:用 LS-DYNA 进行模拟计算,求出球壳与梁的碰撞力。

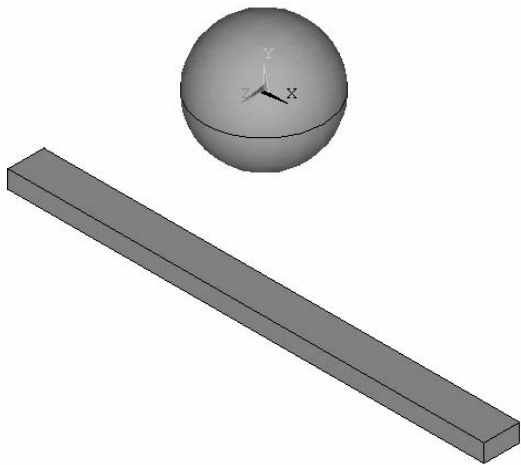


图 1-2 球壳与梁

对于以上问题怎样入手呢？其实只需要确定下列几个方面就解决了大部分的问题。

- (1) 几何模型。确定球壳和梁的几何形状。
- (2) 材料属性。给球壳和梁赋予材料属性，如密度、杨氏模量、泊松比。显然，这些因素会影响撞击力。
- (3) 网格划分。几何模型是连续的，为了进行有限元计算，需要对模型做离散化处理。
- (4) 初始速度。球壳的初始速度必然对撞击过程有影响。
- (5) 载荷。在球壳下落的过程中，重力载荷会提高它的速度。
- (6) 接触。球壳和梁要有接触，通常接触面还应当设置摩擦系数。
- (7) 输出设置。设置仿真过程的持续时间；设置与输出有关的信息，如数据的采样率等。
- (8) 求解。这个过程主要由计算机完成。
- (9) 后处理。查看仿真结果。

以上是解决本例题的步骤，也是进行一般仿真分析的主要步骤。现在还需要做的工作是在软件上完成以上步骤。

### 1.3.2 LS-DYNA 前处理软件

伴随着 LS-DYNA 的不断完善，多款 LS-DYNA 的前处理软件相继推出。其中比较有名的 PC 版前处理软件有 ETA 公司的 FEMB、ANSYS/LS-DYNA、LS-PREPOST（这三款软件也能进行后处理）。本书使用 ANSYS/LS-DYNA 作为前处理软件。熟悉 ANSYS 软件的读者可以方便地使用 ANSYS/LS-DYNA 进行建模。

### 1.3.3 LS-DYNA 后处理软件

比较有名的 LS-DYNA 后处理软件有 ANSYS/LS-DYNA、LS-POST、LS-PREPOST（该软件由 LS-POST 发展而来）。本书将使用 LS-PREPOST 软件进行后处理。用户可以在 LS-PREPOST 中导入 LS-DYNA 的计算结果文件，观看仿真动画，提取各种有用数据（如应力、应变、位移、速度、加速度、动能、内能、接触力等）。LS-PREPOST 中也包含了数据处理功能。关于 LS-PREPOST 的详细介绍请见本书的第 8 章“后处理”。

## 1.4 入门引例——两杆的碰撞问题

这里给出一个简单的例题以完整演示 LS-DYNA 软件处理碰撞问题的方法。本例题演示了在 ANSYS/LS-DYNA 模块下的建模和求解，以及在 LS-PREPOST 后处理器中查看结果。通过本例的学习，初学者可以对 LS-DYNA 的使用方法有一个整体了解。本例题使用 kg-m-s 制国际单位。在后续章节如果遇到没有说明单位制的情况，默认取 kg-m-s 制国际单位。

为了让初学者能够顺利快速地完成整个练习，作者给出了简洁的操作说明。软件中的各种操作命令将在后续章节的例题中逐步说明。



起始文件

——附带光盘 “Ch1\bar\_impact.db”



结果文件

——附带光盘 “Ch1\bar\_impact.k”



动画演示

——附带光盘 “AVI\Ch1\bar\_impact.avi”

这里做一点说明，“\*.db”文件为 ANSYS/LS-DYNA 前处理器的数据文件，它保存了模型的相关信息。该文件可在 ANSYS/LS-DYNA 前处理器中被打开或被修改。起始文件可能为一个完整的模型文件（没特别说明时），也可能是一个只有部分模型的文件（如只有几何模型，还未有划分网格等），这应当视具体例题而定。“\*.k”文件（简称 k 文件）为前处理结束后程序导出的一个文件。k 文件保存了模型的所有信息。将 k 文件导入求解器就能对模型进行求解计算。“\*.avi”文件为前处理操作过程的录像文件。

### 1.4.1 问题描述

如图 1-3 所示，A 杆以  $v=5\text{m/s}$  的初速度撞击 B 杆的左端。A、B 两杆的轴线重合，且两杆的端面尺寸都为  $0.02\text{m}\times 0.02\text{m}$ 。A 杆长  $0.05\text{m}$ ，B 杆长  $0.1\text{m}$ 。两杆为材料相同的钢杆，且假定材料都处于线弹性阶段，材料的杨氏模量  $E=2.1\times 10^{11}\text{Pa}$ ，泊松比  $\lambda=0.3$ ，密度为  $\rho=7850\text{kg/m}^3$ 。要求：观察撞击后 A、B 两杆的运动情况。

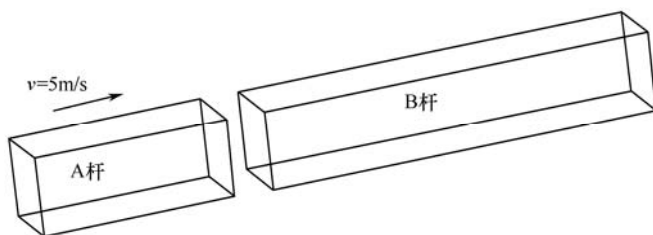


图 1-3 A、B 两杆

### 1.4.2 进入 LS-DYNA 前处理器

（1）在“开始”菜单中将鼠标指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 1-4，在“ANSYS 10.0”版本中该图标的名字为“ANSYS Product Launcher”）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 1-5）。

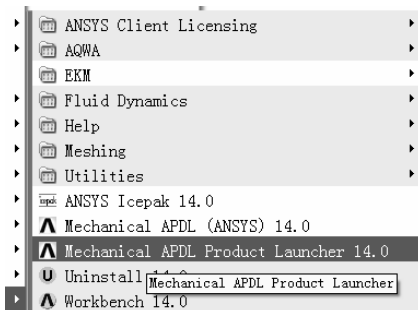


图 1-4 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标

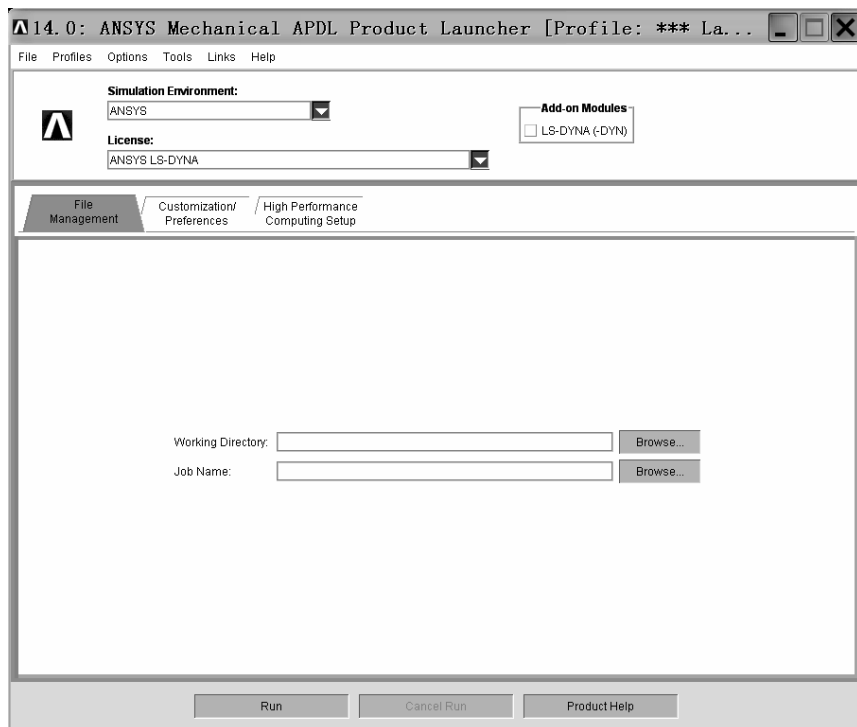


图 1-5 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\bar\_impact”（输入的内容在引号内，该目录为文件的保存目录）。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内输入“bar\_impact”。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”。弹出“ANSYS Mechanical APDL Launcher Query”窗口（见图 1-6）。

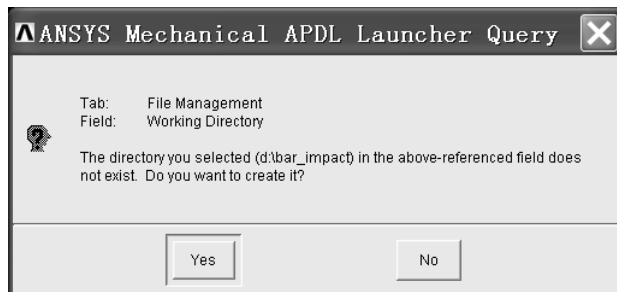


图 1-6 “ANSYS Mechanical APDL Launcher Query” 窗口



(7) 单击“ANSYS Mechanical APDL Launcher Query”窗口中的“Yes”按钮，弹出 ANSYS LS-NYNA 操作界面（见图 1-7）。

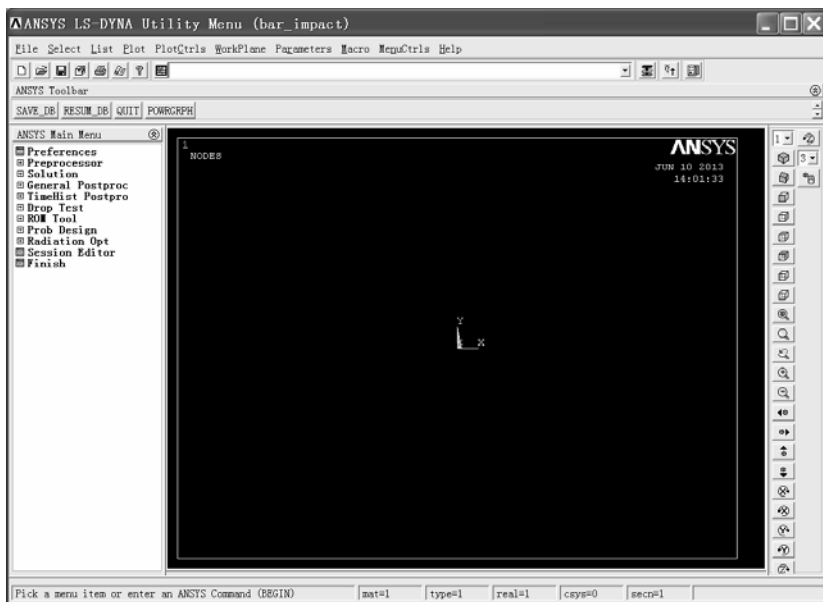


图 1-7 ANSYS LS-DYNA 操作界面

## 1.4.3 建立模型

### 1. 图形界面的坐标系

这里所说的“建立模型”是指建立物体的几何形体，有时“模型”也表示整个有限元模型（包括划分单元后几何形体、边界条件、载荷等），所以对“模型”二字的理解应当视具体情况而定。

建立模型之前，首先介绍一下图形界面的坐标系。如图 1-8 所示，刚打开操作界面后，图形界面中出现一个空间直角坐标系。其中， $X$  轴正方向水平向右， $Y$  轴正方向竖直向上， $Z$  轴正方向垂直屏幕向外。没有

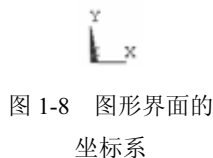


图 1-8 图形界面的坐标系

### 2. 设置单元

(1) Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，即单击 Utility 菜单中的“PlotCtrls”、再依次单击下级菜单中的“Style”，“Colors”，“Reverse Video”（见图 1-9）。将图形窗口的背景变为白色（见图 1-10），以便在后续操作中更清楚地观看视图。

(2) Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete，即单击 Main 菜单下的“Preprocessor”，再依次单击“Element Type”、“Add/Edit/Delete”（见图 1-11），弹出“Element Types”窗口（见图 1-12）。

(3) 单击“Element Types”窗口中的“Add”，弹出“Library of Element Types”窗口（见图 1-13）。

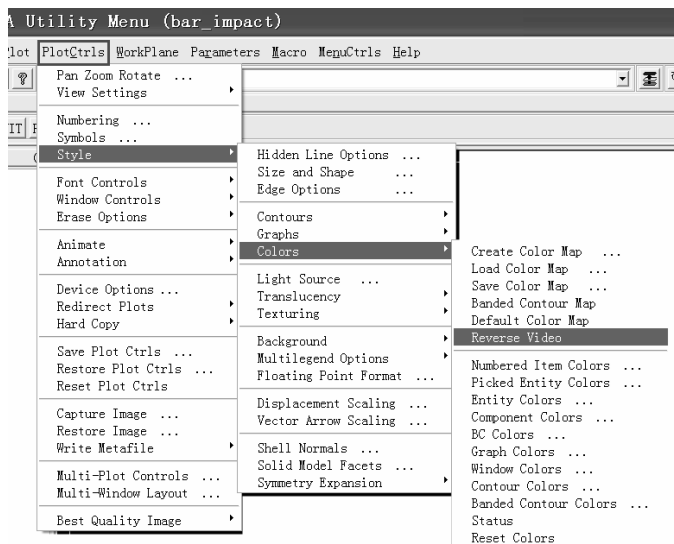


图 1-9 Utility 菜单展开

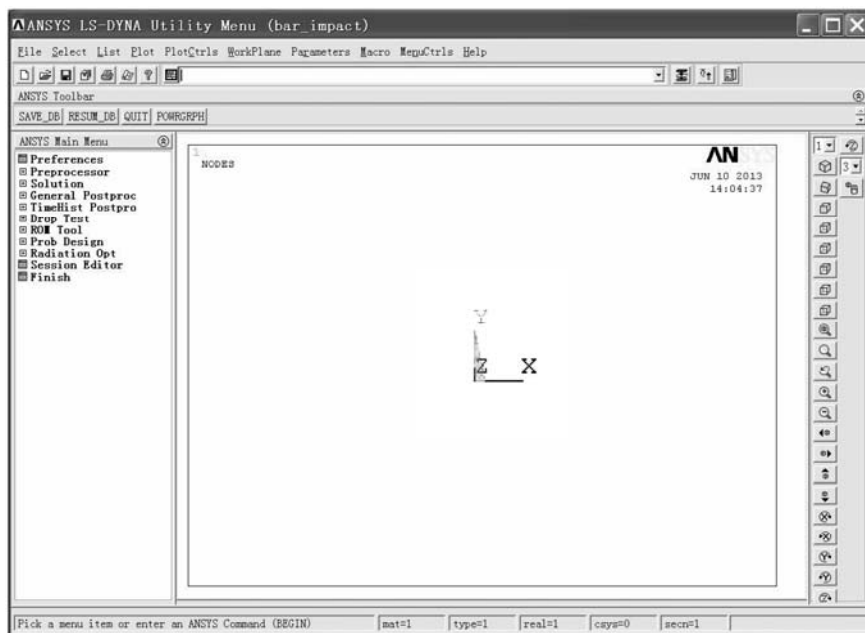


图 1-10 ANSYS LS-DYNA 操作界面

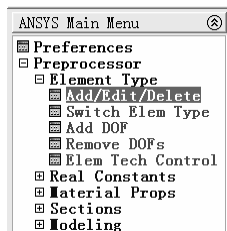


图 1-11 Main 菜单展开

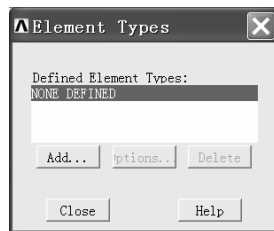


图 1-12 “Element Types” 窗口

(4) 在“Library of Element Types”窗口中的左边方框中用鼠标单击选中“LS-DYNA Explicit”（选中后背景为蓝色），在右边方框中用鼠标单击选中“3D Solid 164”。

(5) 单击“Library of Element Types”窗口中的“Apply”按钮。

(6) 单击“Library of Element Types”窗口中的“OK”按钮。这时“Element Types”窗口中显示已经选好了两种单元（见图 1-14）。

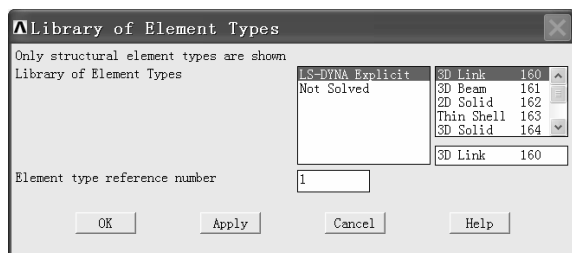


图 1-13 “Library of Element Types” 窗口

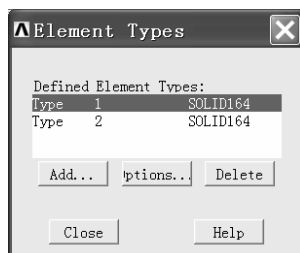


图 1-14 “Element Types” 窗口

(7) 单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

### 3. 定义材料

(1) 依次单击 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 出现“Define Material Model Behavior”窗口（见图 1-15）。

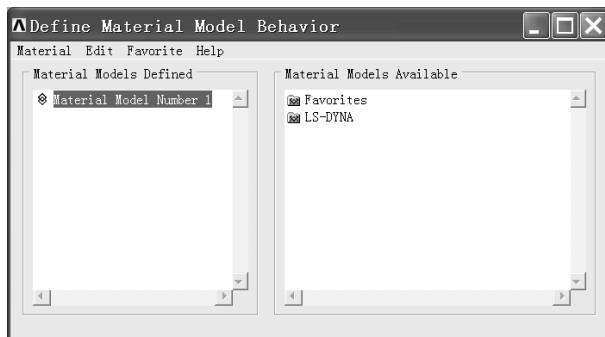


图 1-15 “Define Material Model Behavior” 窗口

(2) 单击（如果是 ANSYS10.0 版本，这里需要双击）“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中的“LS-DYNA”文件夹，然后单击“Linear”文件夹，再单击“Elastic”文件夹，最后单击“Isotropic”，出现“Linear Isotropic Properties for...”窗口（见图 1-16）。

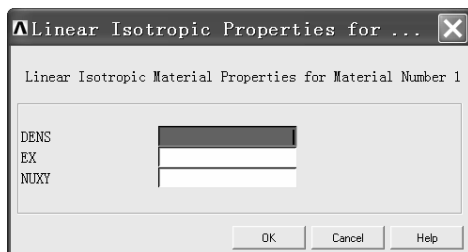


图 1-16 “Linear Isotropic Properties for...” 窗口

(3) 在“Linear Isotropic Properties for...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，“EX”方框处写入“2.1e11”，“NUXY”方框处写入“0.3”。以上输入表示材料密度为  $7850\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2.1 \times 10^{11}\text{Pa}$ （注意 2.1e11 表示  $2.1 \times 10^{11}$ ），泊松比为 0.3。

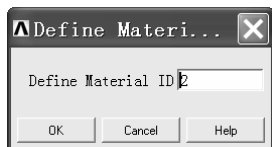


图 1-17 “Define Materi...”窗口

(4) 单击“Linear Isotropic Properties for...”窗口中的“OK”按钮。

(5) 单击“Define Material Model Behavior”窗口左上角下拉菜单中的“Material”，再单击“New Model...”，出现“Define Materi...”窗口（见图 1-17）。

(6) 单击“Define Materi...”窗口中的“OK”按钮。

(7) 单击“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中的“Isotropic”（打开“Isotropic”的路径是：单击“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中“LS-DYNA”文件夹，再单击“Linear”文件夹，再单击“Elastic”文件夹），出现“Linear Isotropic Properties for...”窗口（见图 1-18）。

(8) 在“Linear Isotropic Properties for...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，“EX”方框处写入“2.1e11”，“NUXY”方框处写入“0.3”。

(9) 单击“Linear Isotropic Properties for...”窗口中的“OK”按钮。

(10) 以上定义了两组材料参数，单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

#### 4. 建立几何模型

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions，出现“Create Block by Dimensions”窗口（见图 1-19）。

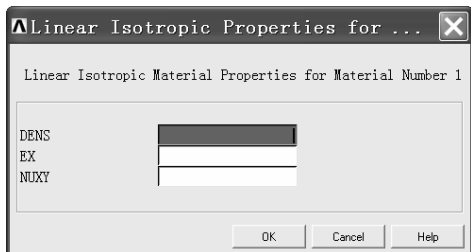


图 1-18 “Linear Isotropic Properties for...”窗口

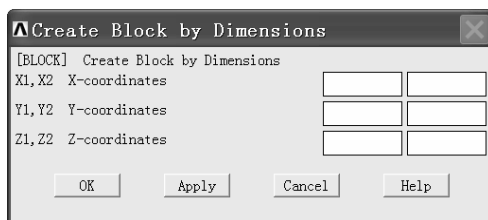


图 1-19 “Create Block by Dimensions”窗口

(2) 在“Create Block by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后面的方框内依次输入“-0.05”、“0”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后面的方框内依次输入“-0.01”、“0.01”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后面的方框内依次输入“-0.01”、“0.01”。

(3) 单击“Create Block by Dimensions”窗口中的“OK”按钮。杆 A 的模型已建立，出现在图形窗口中（见图 1-20）。注意图形窗口中坐标的 X、Y、Z 轴的方向。

(4) 单击操作界面右侧视图工具条中的“Isometric View”（见图 1-21），改变视图的观察角度。改变观察角度后的视图如图 1-22 所示。如果将鼠标指向模型（即 A 杆），用 Ctrl+鼠标左键可以平移视图（按住键盘上的“Ctrl”键，保持不放，同时按住鼠标的左键并移动鼠标）；滚动鼠标的中键对视图进行放缩；用 Ctrl+鼠标右键可以旋转视图。



图 1-20 杆 A 模型

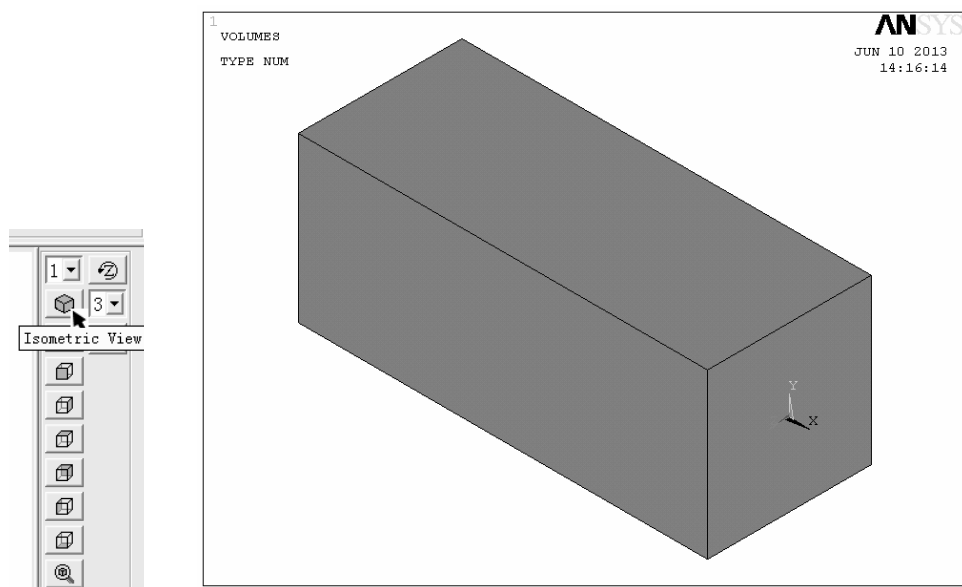


图 1-21 视图工具条

图 1-22 A 杆模型

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 出现“Create Block by Dimensions”窗口(见图 1-23)。

(6) 在“Create Block by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后面的方框内依次输入“0.001”、“0.101”, 在“Y1, Y2 Y-coordinates”后面的方框内依次输入“-0.01”、“0.01”, 在“Z1, Z2 Z-coordinates”后面的方框内依次输入“-0.01”、“0.01”。

(7) 单击“Create Block by Dimensions”窗口中的“OK”按钮。杆 B 的模型已建立, 出现在图形窗口中(见图 1-24)。

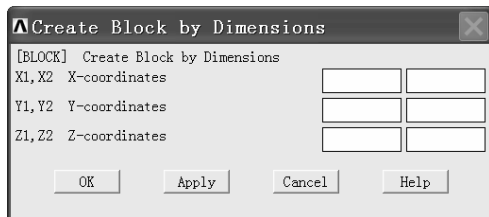


图 1-23 “Create Block by Dimensions” 窗口

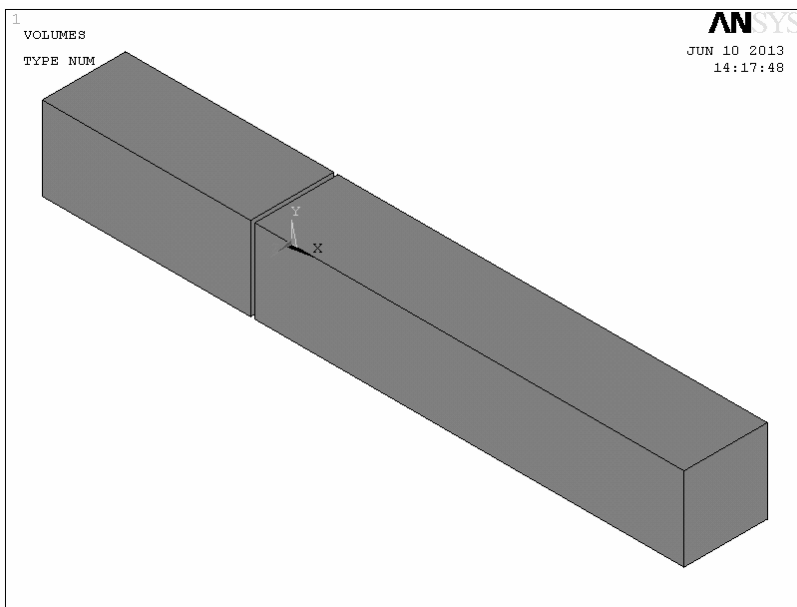


图 1-24 A、B 杆模型

(8) 单击“Modeling”(在“Main Menu”菜单下的“Preprocessor”菜单中), 收起展开的菜单。

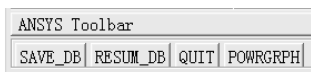


图 1-25 工具条

(9) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮(见图 1-25)保存文件。如果看不到“SAVE\_DB”, 可以先单击一下“ANSYS Toolbar”。

#### 1.4.4 划分单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口(见图 1-26)。

(2) 在“MeshTool”窗口中的“Element Attributes:”下面的方框中选择“Global”(单击该方框后的倒三角形来选择), 再单击该方框后的“Set”按钮, 弹出“Meshing Attributes”窗口(见图 1-27)。

(3) 在“Meshing Attributes”窗口下进行选择: 在“[TYPE] Element type number”后面的方框中选择“1 SOLID164”。在“[MAT] Material number”后面的方框中选择“1”。然后单击“Meshing Attributes”窗口中的“OK”按钮。

(4) 单击“MeshTool”窗口中“Lines”后面的“Set”按钮，弹出“Element Si...”窗口（见图 1-28）。

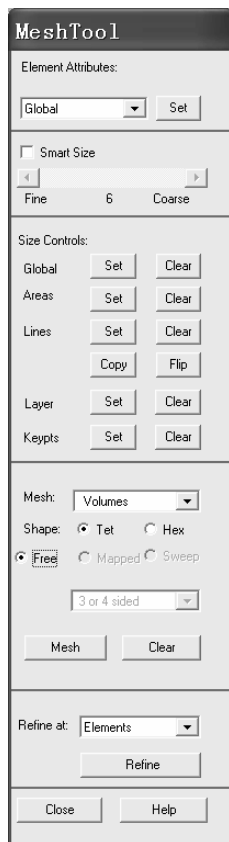


图 1-26 “MeshTool”窗口

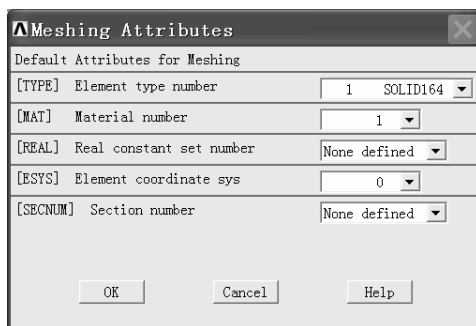


图 1-27 “Meshing Attributes”窗口

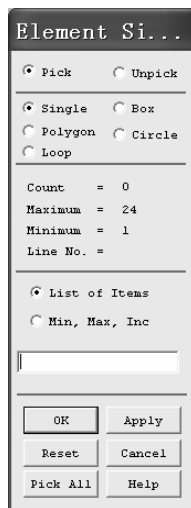


图 1-28 “Element Si...”窗口

(5) 单击“Element Si...”窗口中的“Pick All”按钮，弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口（见图 1-29）。

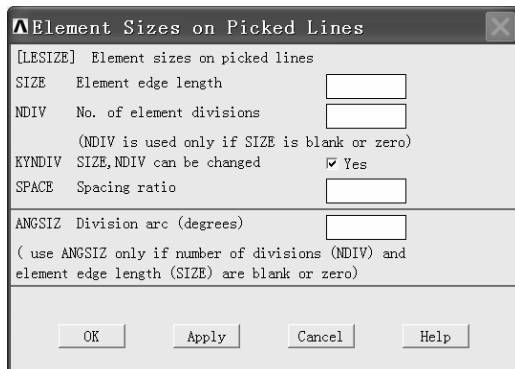


图 1-29 “Element Sizes on Picked Lines”窗口

(6) 在“Element Sizes on Picked Lines”窗口中“SIZE Element edge length”后面的方框中输入“0.004”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口（见图 1-30）。

(8) 在“MeshTool”窗口中从“Mesh:”后的方框中选择“Volumes”。从“Shape”后的单选框中选中“Hex”。

(9) 在“MeshTool”窗口中，单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 1-31），鼠标光标变为向上的黑色箭头。

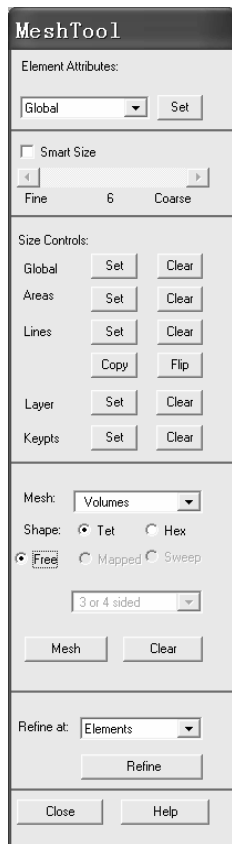


图 1-30 “MeshTool”窗口

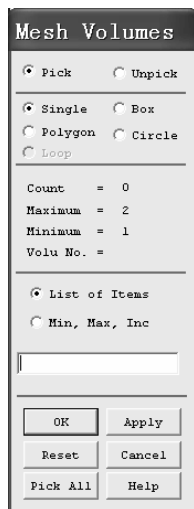


图 1-31 “Mesh Volumes”窗口

(10) 将鼠标指在 A 杆的中部，单击鼠标左键。A 杆的颜色改变。然后单击“Mesh Volumes”窗口中的“OK”按钮。A 杆已划分好单元（见图 1-32）。

(11) 依次选择 Utility Menu>Plot>Volumes，重新显示 A、B 两杆（见图 1-33）。

(12) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口（见图 1-34）。

(13) 在“MeshTool”窗口中的“Element Attributes:”处选择“Global”，再单击该方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口（见图 1-35）。



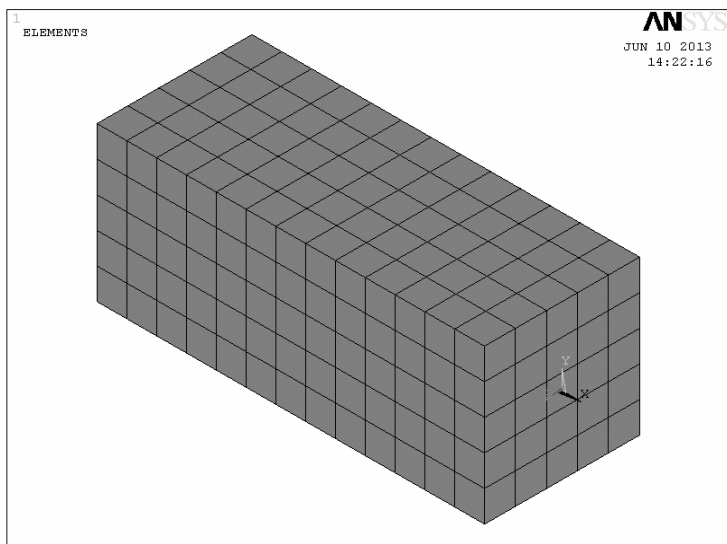


图 1-32 A 杆已划分单元

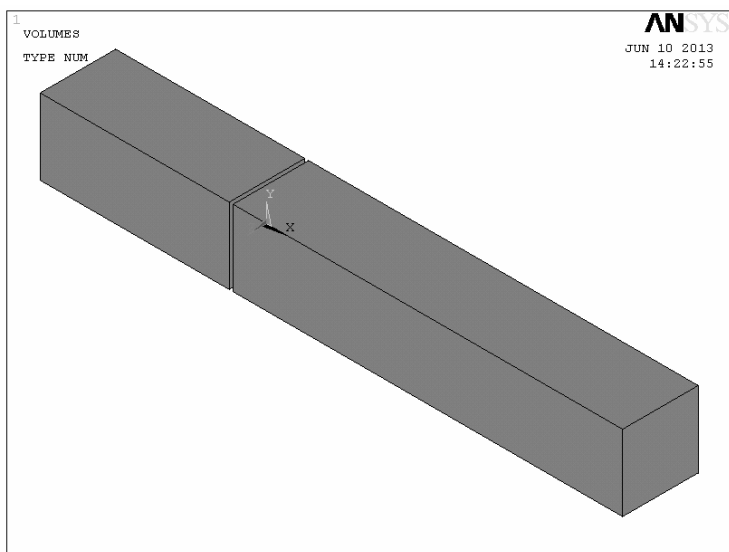


图 1-33 A、B 两杆

(14) 在“Meshing Attributes”窗口下进行选择：首先在“[TYPE] Element type number”后面的方框中选择“2 SOLID164”，再在“[Mat] Material number”后面的方框中选择“2”，然后单击“Meshing Attributes”窗口中的“OK”按钮。

(15) 在“MeshTool”窗口中，从“Mesh”后的方框中选择“Volumes”（单击该方框后的倒立三角形来选择），再从“Shape”后的单选框中选中“Hex”。

(16) 在“MeshTool”窗口中，单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 1-36），鼠标光标变为向上的黑色箭头。

(17) 将鼠标指在 B 杆的中部，然后单击鼠标左键。B 杆的颜色改变。然后单击“Mesh Volumes”窗口中的“OK”按钮。B 杆被划分好单元（见图 1-37）。

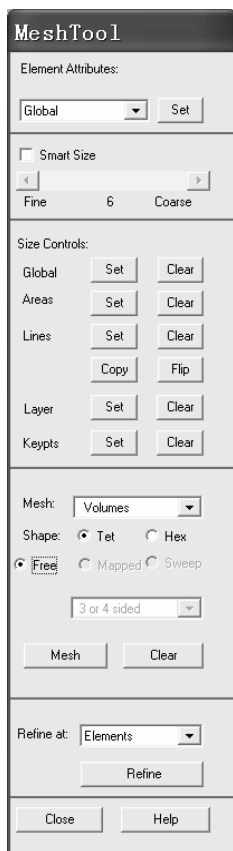


图 1-34 “MeshTool” 窗口

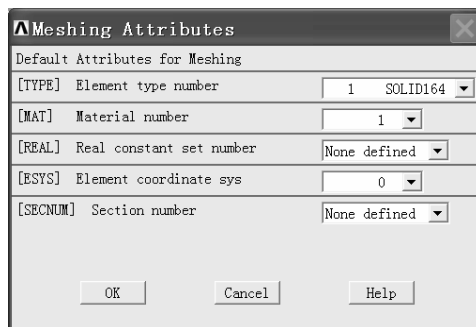


图 1-35 “Meshing Attributes” 窗口

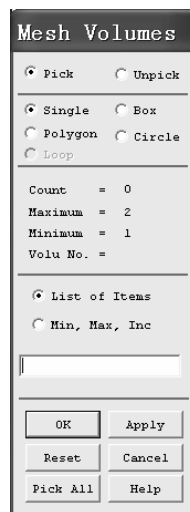


图 1-36 “Mesh Volumes” 窗口

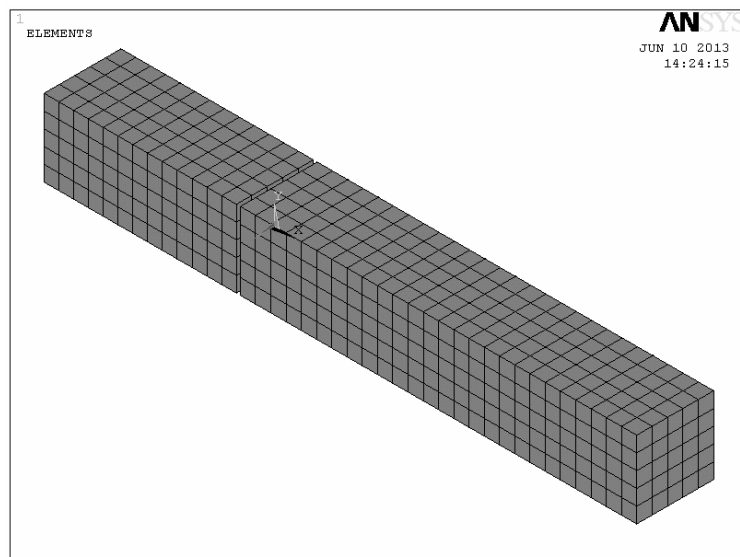


图 1-37 A、B 两杆都划分好单元

(18) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮 (见图 1-38), 保存文件。

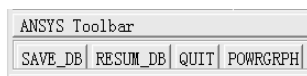


图 1-38 工具条

## 1.4.5 工况设置

### 1. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口 (见图 1-39)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口中的默认设置不变, 单击该窗口的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口 (见图 1-40)。

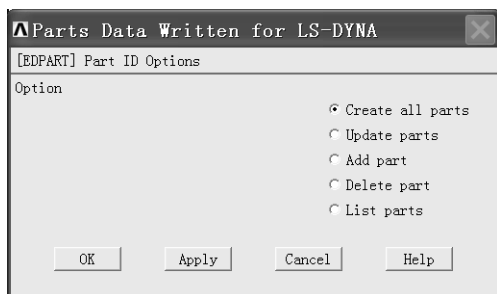


图 1-39 “Parts Data Written for LS-DYNA”窗口

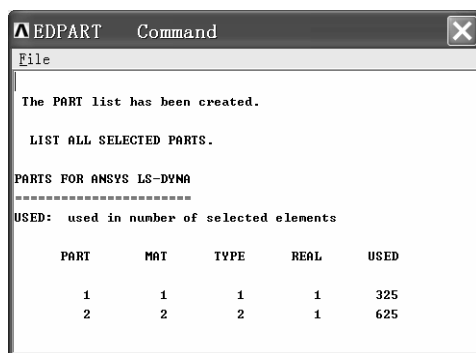


图 1-40 “EDPART Command”窗口

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号, 关闭该窗口。

### 2. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口 (见图 1-41)。

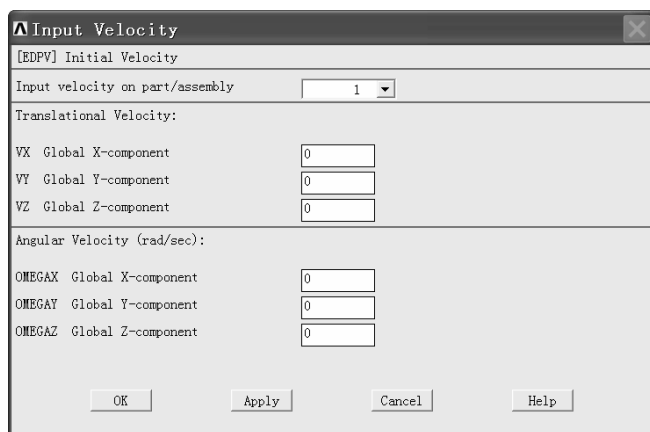


图 1-41 “Input Velocity”窗口

(2) 在“Input Velocity”中“Input velocity on part/assembly”后面的方框中选择“1”, 再在“VX Global X-component”后面的方框中输入“5”, 然后单击“OK”按钮。

### 3. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact, 弹出“Contact Parameter Definitions”窗口(见图 1-42)。

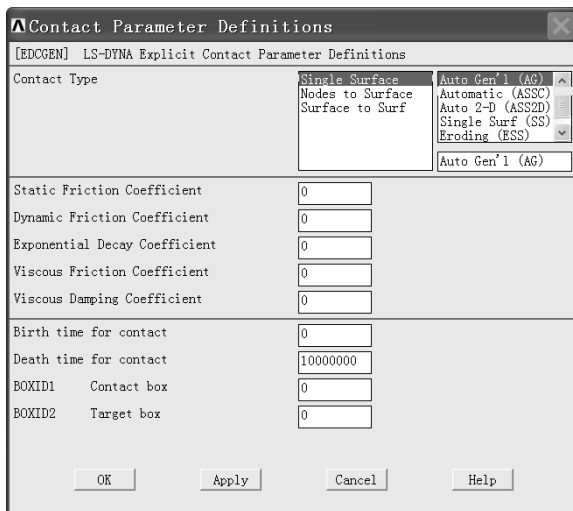


图 1-42 “Contact Parameter Definitions”窗口

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Contact Type”后边的第一个方框中选择“Single Surface”, 在“Contact Type”后边的第二个方框中选择“Automatic (ASSC)”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Static Friction Coefficient”后边的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Dynamic Friction Coefficient”后边的方框内输入“0.3”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮(见图 1-43), 保存文件。

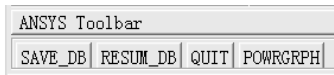


图 1-43 工具条

## 1.4.6 求解设置

### 1. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time, 弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口(见图 1-44)。

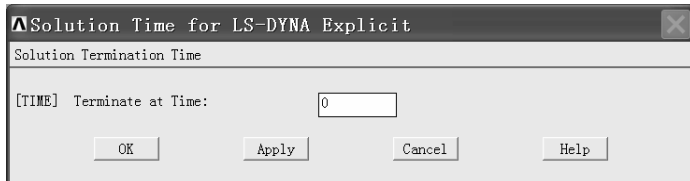


图 1-44 “Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口“[TIME] Terminate at Time:”后面的方框中输入“0.01”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types，弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口（见图 1-45）。

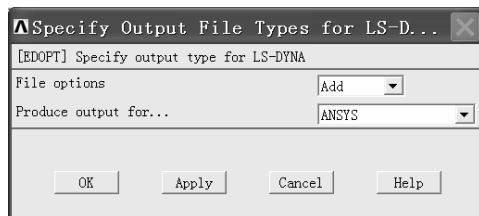


图 1-45 “Specify Output File Types for LS-D...”窗口

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口“File options”后面的方框中选择“Add”（单击该方框后的倒立三角形来选择），再在“Produce output for...”后面的方框中选择“LS-DYNA”（单击该方框后的倒立三角形来选择），然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps，弹出“Specify File Output Frequency”窗口（见图 1-46）。

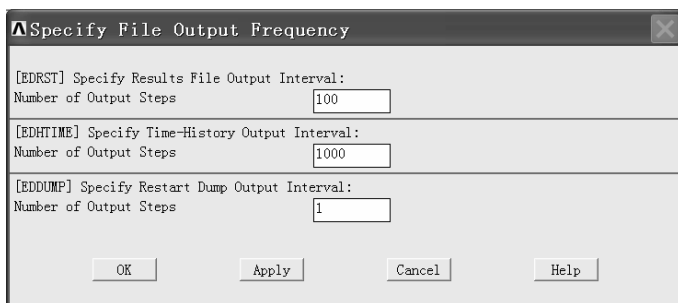


图 1-46 “Specify File Output Frequency”窗口

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后面的方框中输入“50”，再在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后面的方框中输入“50”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

## 2. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k，弹出“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 1-47）。

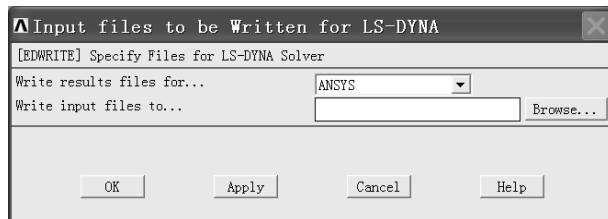


图 1-47 “Input files to be Written for LS-DYNA”窗口

(2) 在“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中“Write results files for...”后面的方框中选择“LS-DYNA”，再单击“Write input files to...”后面的“Browse...”按钮，弹出“Write input files to...”窗口（见图 1-48）。

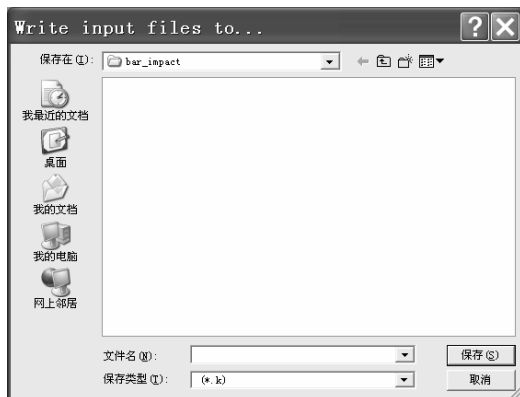


图 1-48 “Write input files to...”窗口

(3) 在“Write input files to...”窗口中“文件名(N):”后的方框中输入“bar\_impact.k”，然后单击“保存”按钮，然后再回到“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 1-49）。

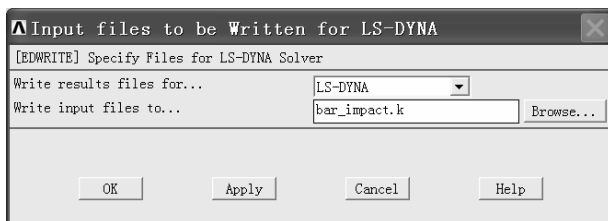


图 1-49 “Input files to be Written for LS-DYNA”窗口

(4) 单击“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中的“OK”按钮，弹出“EDWRITE Command”窗口（见图 1-50）。

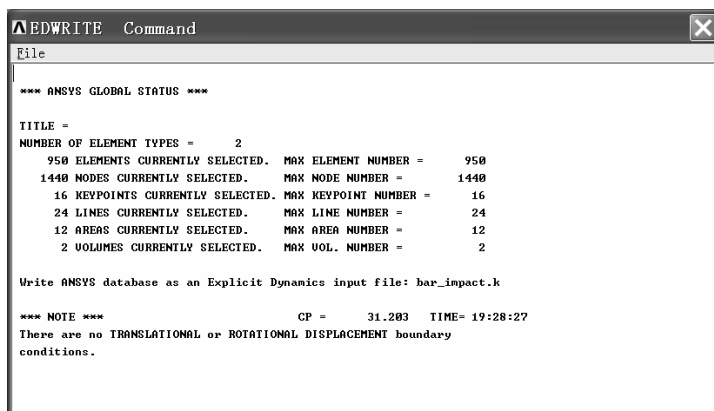


图 1-50 “EDWRITE Command”窗口

(5) 单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号，关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号，关闭整个操作界面，弹出“Exit from ANSYS”窗口（见图 1-51）。

(7) 选中“Exit from ANSYS”窗口中“Save Everything”前面的单选框，再单击该窗口中的“OK”按钮。

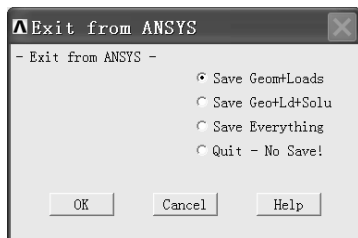


图 1-51 “Exit from ANSYS”窗口

### 3. 求解

(1) 打开“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口（见图 1-52）。其实该窗口前面已经打开，只需单击桌面下方任务栏中该窗口的最小化图标，使该窗口显示出来。如果前面已将该窗口关闭，可以用“开始”菜单中的“ANSYS 14.0”文件夹下的“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标打开（单击此图标）。

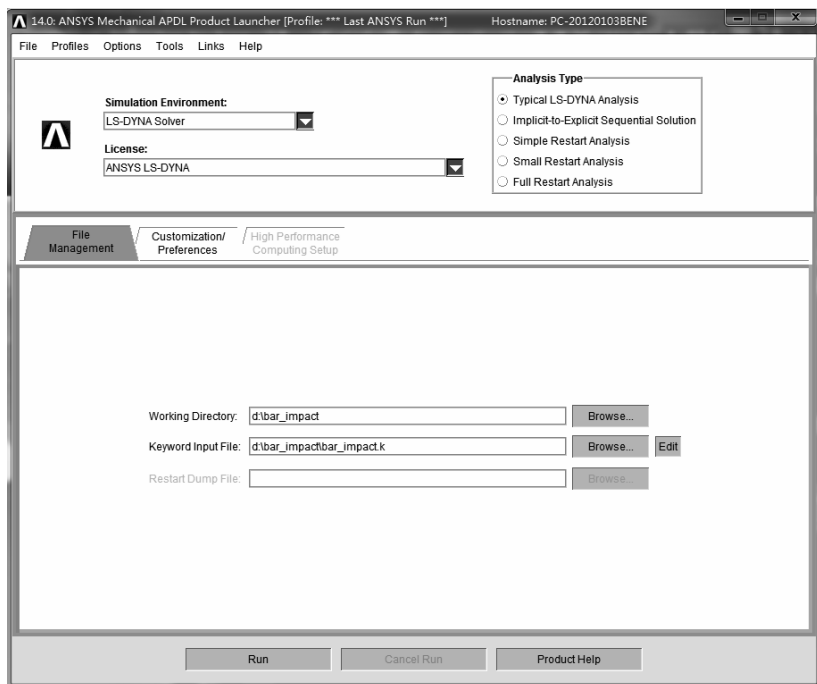


图 1-52 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口

(2) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\bar\_impact”。

(5) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Keyword Input File”方框后的“Browse...”按钮，弹出“Select Keyword Input File”窗口（见图 1-53）。

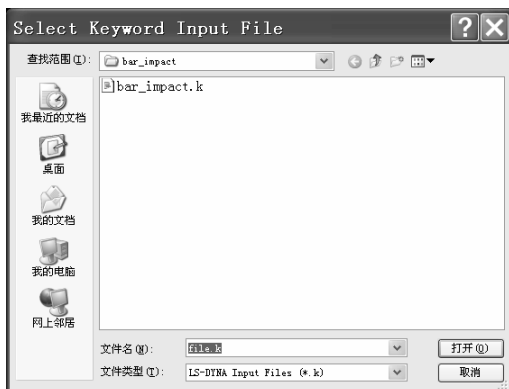


图 1-53 “Select Keyword Input File” 窗口

(6) 在“Select Keyword Input File”窗口中找到“d:\bar\_impact”目录下的“bar\_impact.k”文件，用鼠标单击该文件后单击“打开”按钮。

(7) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Run”按钮，弹出显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口（见图 1-54）。

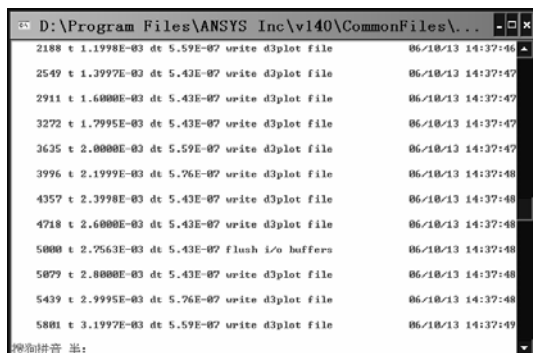


图 1-54 显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口

(8) 计算完成时，显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口内出现图 1-55 显示的内容，单击键盘上的任意键可关闭该窗口。

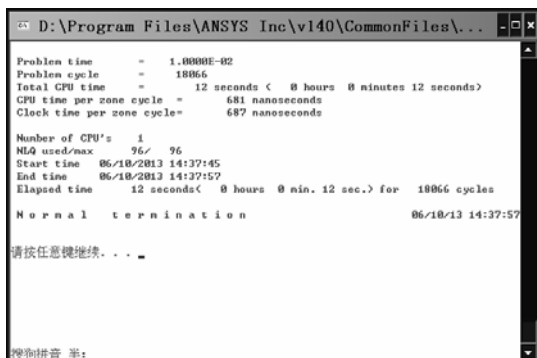


图 1-55 计算结束



### 1.4.7 后处理

第一次使用 LS-PREPOST 3.2 时, 需要在 ANSYS 14.0 的安装目录下找到该软件, 并安装该软件。安装后就可以进行下面操作了。

(1) 双击“LS-PREPOST”图标(见图 1-56)打开 LS-PREPOST 后处理器(见图 1-57)。



图 1-56 LS-PREPOST 后处理器图标

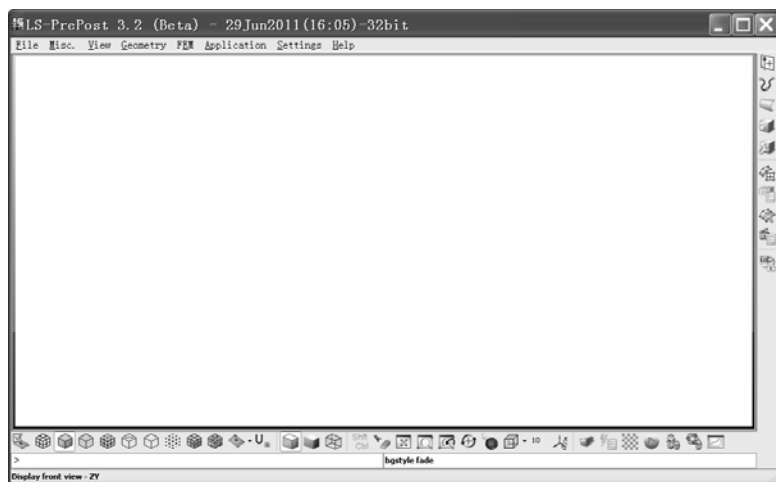


图 1-57 LS-PREPOST 的操作界面 (1)

(2) 单击键盘上的“F11”键, 切换 LS-PREPOST 的操作界面(见图 1-58)。单击 LS-PREPOST 操作界面上部的下拉菜单“Background”, 接着单击“Plain”, 操作界面的背景变为白色。

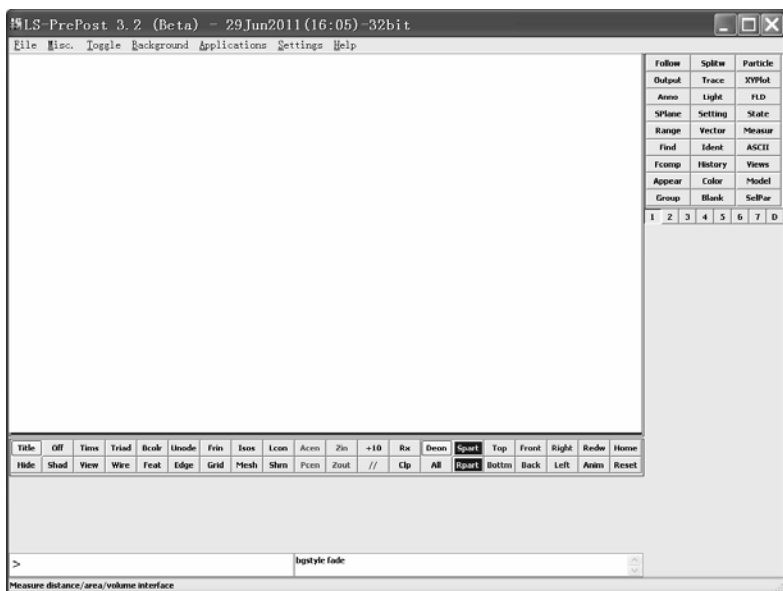


图 1-58 LS-PREPOST 的操作界面 (2)

(3) 单击操作界面左上角的 File 下拉菜单，再单击“Open”，最后单击“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”（见图 1-59），弹出“Open File”窗口（见图 1-60）。

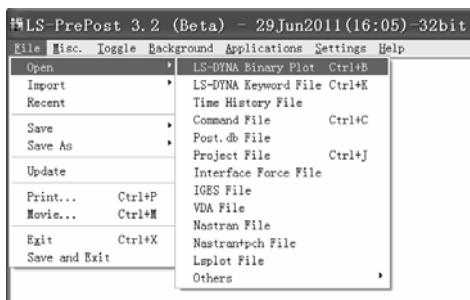


图 1-59 打开计算结果文件

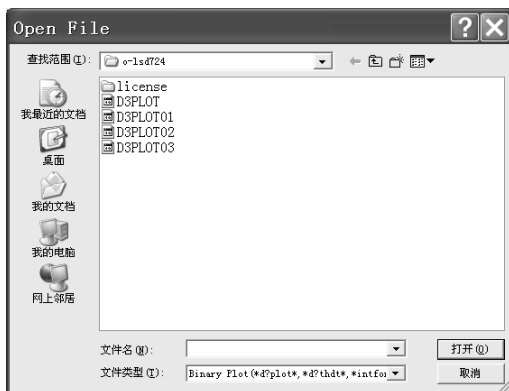


图 1-60 “Open File”窗口

(4) 从“Open File”窗口打开“d:\bar\_impact”目录下的“d3plot”文件，弹出图 1-61 所示的图形。图中显示了 A、B 两杆的正面视图。

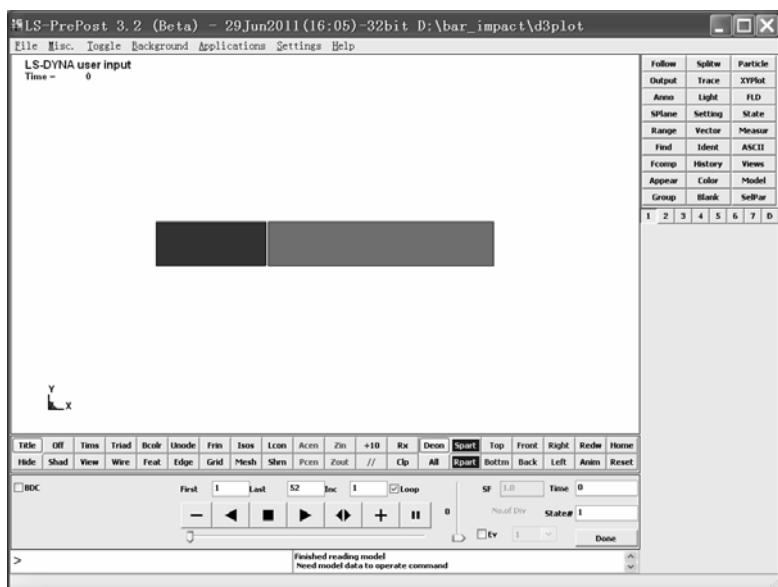


图 1-61 操作界面

(5) 将鼠标指在 A、B 杆上，用 Ctrl 键+鼠标左键可以转动视图（先按住“Ctrl”键不放，接着按下鼠标左键并保持，同时移动鼠标）；用 Ctrl 键+鼠标中键可以对视图进行缩放；用 Ctrl 键+鼠标右键可以平移视图。

(6) 单击图形窗口下边向右的黑色三角形播放撞击过程的动画。单击圆形黑点暂停动画（见图 1-62）。

(7) 单击操作界面右上方的“Fcomp”按钮，出现“Fringe Component”窗口（见图 1-63）。单击“Fringe Component”窗口左侧的“Stress”，再单击“Fringe Component”窗



图 1-62 动画播放条



图 1-63 “Fcomp”按钮与“Fringe Component”窗口

口右侧的“von mises stress”，可以观看撞击过程中 A、B 两杆中应力的变化（当然，这里需要播放动画，见图 1-64）。

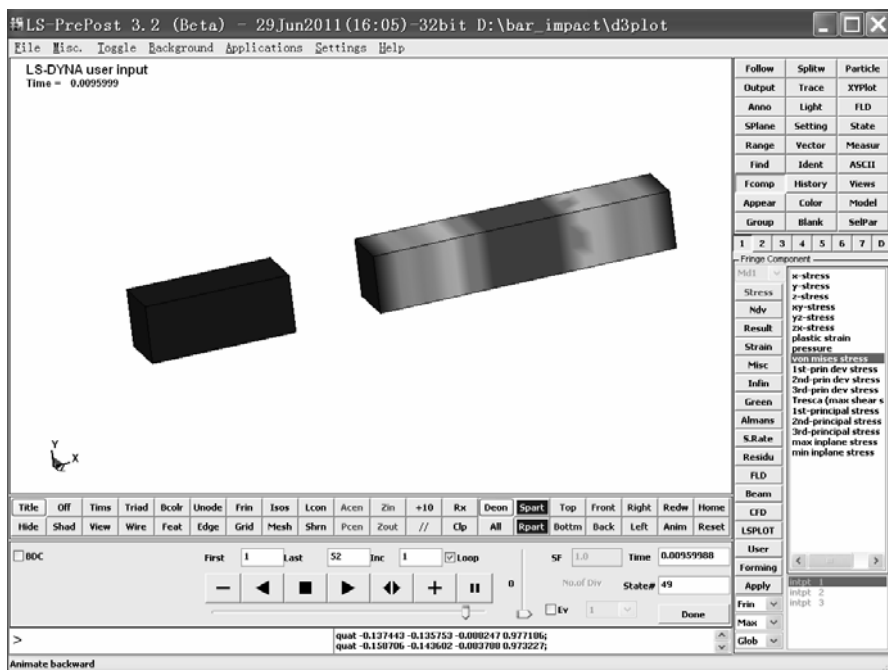
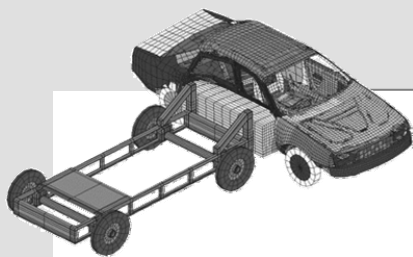


图 1-64 操作界面

## 1.5 小结

本章简要介绍了 LS-DYNA 的功能，以及用 LS-DYNA 进行仿真分析的步骤。1.4 节的入门引例是一个完整的仿真分析例题，它包含了详尽的前处理、求解、后处理，演示了典型的仿真分析过程。初学者最好能够反复练习本书中的实例，以便熟能生巧。



## 第 2 章 建立几何模型

本章介绍使用 ANSYS LS-DYNA 分析软件建立各种模型的方法，详细介绍简单图形元素的建立步骤。熟悉本章演示的坐标变换方法及布尔运算后，读者可以方便地建立较为复杂的模型。如果有一定的建模基础，读者也可以从本章 2.13 节的实例 3 直接开始上机练习。实例 3 给出了完整的建模求解过程，初学者可以轻松应对。如果要了解详细的建模技巧，读者可以回过头来查看本章前面的内容。



### 本章内容

- 简单模型的建立
- 借助于坐标变换建立模型
- 用布尔运算建立比较复杂的模型
- 对模型的修改

## 2.1 LS-DYNA 模型分类

LS-DYNA 分析软件中常用到的模型有三类：实体模型、板壳模型和离散模型。实体模型用于一般物体的分析，如分析零件的应力、应变等。板壳模型用于分析薄壁构件，如汽车外壳、油管等。对于薄壁构件，使用板壳模型可以节约大量计算时间。离散模型通常用于分析特殊构件，如弹簧、阻尼、杆、集中质点、集中转动惯量等，使用离散模型不但可以节省大量计算时间，而且可以使建模过程大为简化。

### 2.1.1 实体模型

实体模型即是真实反映出物体形状模型，如要对一块砖进行受力分析，就先建立一个与砖的形状相同的长方体模型。实体模型最大的好处在于可以比较方便地施加约束与载荷，建模直观，同时查看实体模型各点的变形与应力也很方便。使用实体模型也有不利方面：模型较大时，分析求解使用的计算时间会迅速增加。

使用实体模型时必须注意合理地简化。比如，要计算一个铁块对地面的撞击力。如果铁块上有一个极小的凹坑，建模时应把凹坑建立进去吗？在这个问题中，是不应考虑凹坑的。因为，首先小凹坑对撞击力几乎无影响，再者如果模型中出现了小凹坑将给后续的划分单元造成极大不便。

### 2.1.2 板壳模型

板壳可方便地模拟薄壁类构件。对于汽车的外壳，如果使用实体建模，不但麻烦，而且计算量大得惊人，如果使用板壳模型，一切就迎刃而解。对于实际问题，应尽量使用板壳模型来模拟满足要求的实物。

LS-DYNA 是用面模型来表示板壳的。模型中使用的面模型位于板壳的中层，也就是说板壳有一半的厚度在面模型的一侧，另一半厚度在面模型的另一侧。

### 2.1.3 其他模型

其他模型主要为离散模型。离散模型不但可以反映出实际构件的本质，还大大简化了建模与计算。例如，用理想的弹簧模型代替具有复杂三维形状的弹簧实体，同时在很多实际应用中离散模型有不可取代的作用。其他模型一般包括弹簧、阻尼、杆、绳、梁、集中质点、集中转动惯量等。

## 2.2 关键点的建立

构成模型的元素包括点、线、面、体。这里先从关键点说起。关键点就是处于关键位置的点，如线段的两个端点、面的顶点。一旦确定了关键点就可以方便地生成线段和面。

【例】创建 2 个关键点，其坐标分别为  $(-0.1, 0.2, 0)$ ， $(0.2, 0.2, 0)$ 。其操作步骤

如下。

- (1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面；
- (2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色；
- (3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active Plane，弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口（见图 2-1）；
- (4) 在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“-0.1”、“0.2”、“0”；
- (5) 单击“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“Apply”按钮，再次弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口；
- (6) 在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0.2”、“0.2”、“0”，再单击“OK”按钮关闭该窗口；
- (7) 图形界面上显示两个关键点（见图 2-2）。

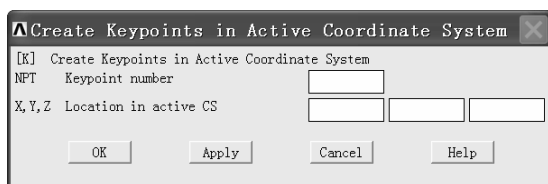


图 2-1 “Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口

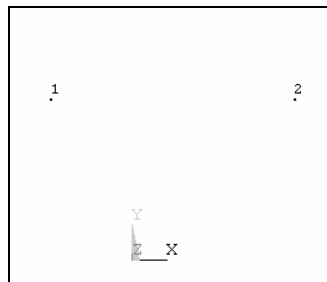


图 2-2 两个关键点

## 2.3 线的建立

LS-DYNA 中使用梁模型、杆模型等时往往需要使用线段，可以通过连接关键点来生成线段。

**【例】** 创建 3 条依次连接的线段。

- (1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active Plane，弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。
- (2) 在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0.1”、“0”、“0”。
- (3) 单击“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“Apply”按钮，再次弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。
- (4) 在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0.2”、“0”、“0”。
- (5) 单击“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“Apply”按钮，再次弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。
- (6) 在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0.2”、“0.1”、“0”。

(7) 单击“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“Apply”按钮，再次弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。

(8) 在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0.3”、“0.1”、“0”。

(9) 单击“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中的“OK”按钮，图形界面生成 4 个关键点（见图 2-3）。

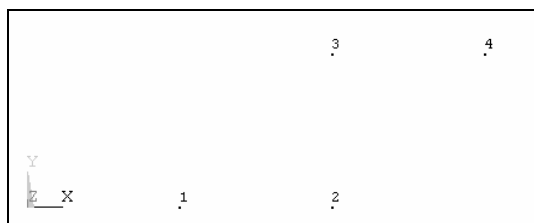


图 2-3 4 个关键点

(10) 依次选择 Preprocessor>Modeling>Create>Lines>Straight Line，弹出“Create Str...”窗口（见图 2-4）。

(11) 用鼠标依次单击关键点 1、关键点 2、关键点 2、关键点 3、关键点 3、关键点 4，单击“Create Str...”窗口中的“OK”按钮，生成 3 条相连的直线段（见图 2-5）。

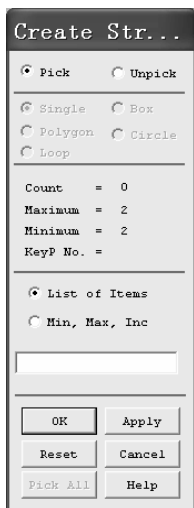


图 2-4 “Create Str...”窗口

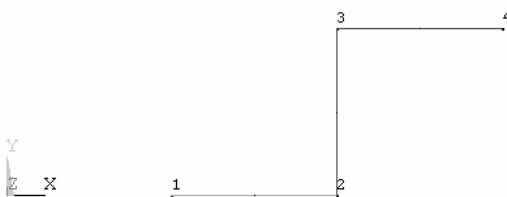


图 2-5 三条直线段

## 2.4 面的建立

ANSYS/LS-DYNA 中提供了许多面模型的基本元素，如矩形、圆面、扇形、扇环、正多边形等。

**【例】** 生成一个  $180^\circ$  的扇环。扇环内圆半径为 0.1，外圆半径为 0.2。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>By Dimensions，弹出

“Circular Area by Dimensions” 窗口（见图 2-6）。

（2）在弹出的“Circular Area by Dimensions”窗口中的 4 个方框中由上到下依次输入“0.2”、“0.1”、“0”“180”，它们依次表示外圆半径、内圆半径、起始角度、终止角度。最后单击“OK”按钮。

（3）图形界面出现 180° 的扇环（见图 2-7）。

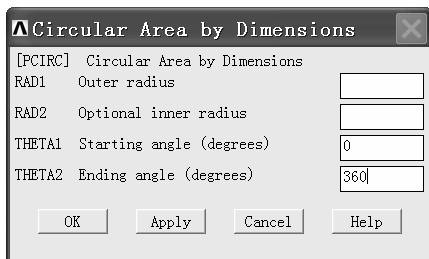


图 2-6 “Circular Area by Dimensions” 窗口

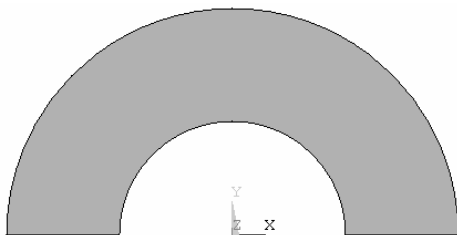


图 2-7 扇环

【例】 生成一个长为 0.2，宽为 0.1 的矩形面。

（1）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions，弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口（见图 2-8）。

（2）在弹出的“Create Rectangle by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后面的两个方框中依次输入“0.5”，“0.7”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后面的两个方框中依次输入“0.3”，“0.4”，单击“OK”按钮。

（3）图形界面出现一个矩形（见图 2-9）。

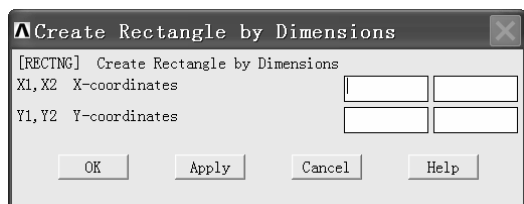


图 2-8 “Create Rectangle by Dimensions” 窗口

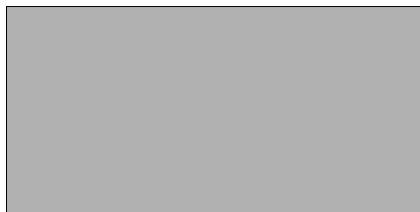


图 2-9 生成的矩形

【例】 生成一个长为 0.2，宽为 0.1 的矩形面。该矩形的一条边与水平线成 45°。

（1）依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Offset WP by Increments...，弹出“Offset WP”窗口（见图 2-10）；

（2）在“Offset WP”窗口中“XY, YZ, ZX Angles”下面的方框中输入“45, 0, 0”（注意引号中的两个逗号都是半角的）。该输入表示将工作坐标系沿工作坐标系的 WZ 轴（正对 WZ 轴箭头时按逆时针方向）转动 45°。

（3）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions，弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口。

（4）在“Create Rectangle by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后面的两个方框中依次输入“0”，“0.2”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后面的两个方框中依次输入“0”，“0.1”，最后单击“OK”按钮。



(5) 图形界面出现一个矩形 (见图 2-11)。图的右下角有两个坐标系。其中旋转了  $45^\circ$  的坐标系为工作坐标系 (坐标轴用 WX、WY、WZ 表示), 未旋转的为全局坐标系 (坐标轴用 X、Y、Z 表示)。

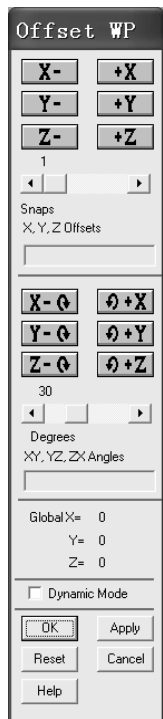


图 2-10 “Offset WP” 窗口

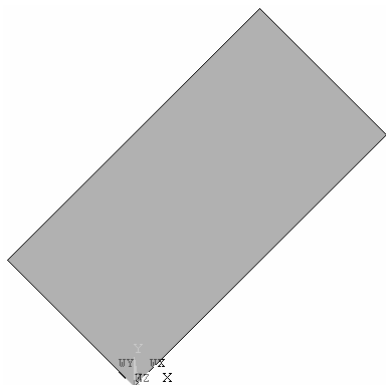


图 2-11 生成的矩形

(6) 依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Align with>Global Cartesian, 将工作坐标系与全局坐标系重合。



### 应用·技巧

全局坐标系 (Global Cartesian, 三个轴分别为 X、Y、Z) 是一个绝对的坐标系, 工作坐标系 (WorkPlane, 三个轴分别为 WX、WY、WZ) 是建立模型时使用的坐标系。要构建相对于全局坐标系有一定角度的模型, 可以先转动工作坐标系到合适的角度。但不要忘事后将工作坐标系与全局坐标系重合。

## 2.5 体的建立

ANSYS LS-DYNA 中提供了许多常见的体模型, 如长方体、圆柱体、球体等。下面举例演示体模型的建立方法。

【例】 建立一个长方体, 其长宽高为  $0.4 \times 0.2 \times 0.1$ 。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口(见图 2-12)。

(2) 在“Create Block by Dimensions”窗口中“X1, X2, X-coordinates”后面的两个方框中分别输入“0”、“0.4”, 在“Y1, Y2, Y-coordinates”后面的两个方框中分别输入“0”、“0.1”, 在“Z1, Z2, Z-coordinates”后面的两个方框中分别输入“0”、“0.2”。以上表示输入了长方体两个体对角点的坐标值。单击“OK”按钮生成长方体。

(3) 用 Ctrl+鼠标左键移动视图, 用 Ctrl+鼠标右键旋转视图, 用鼠标中间缩放视图。旋转后的视图如图 2-13 所示。

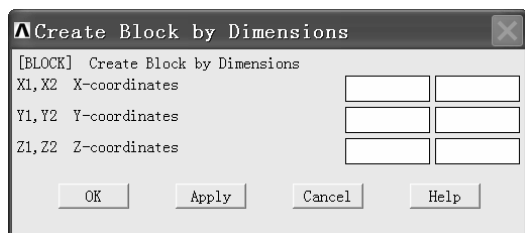


图 2-12 “Create Block by Dimensions”窗口

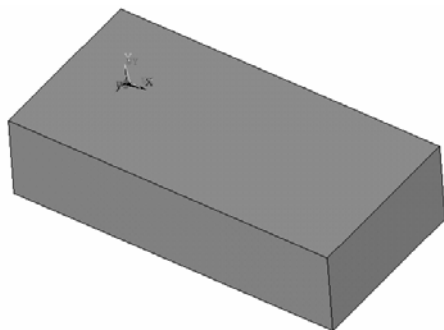


图 2-13 长方体

(4) 依次选择 Utility Menu>Plot>Lines, 显示长方体的棱边(见图 2-14)。

(5) 依次选择 Utility Menu>Plot>Keypoints, 显示长方体的关键点。

(6) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Numbering..., 弹出“Plot Numbering Controls”窗口(见图 2-15)。选中该窗口的“KP Keypoint numbers”后的单选框。此操作的目的是为了显示关键点的编号(选中其他单选框还可以显示线段、面、体等元素的编号)。

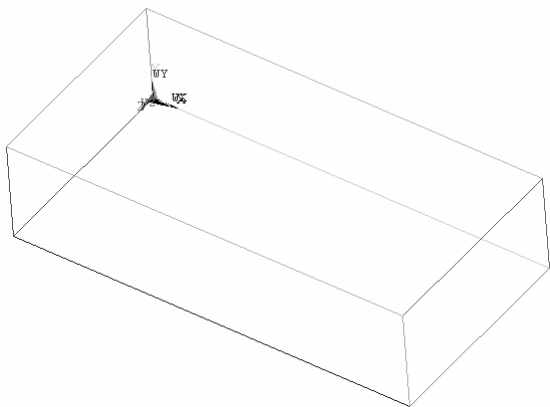


图 2-14 长方体的边

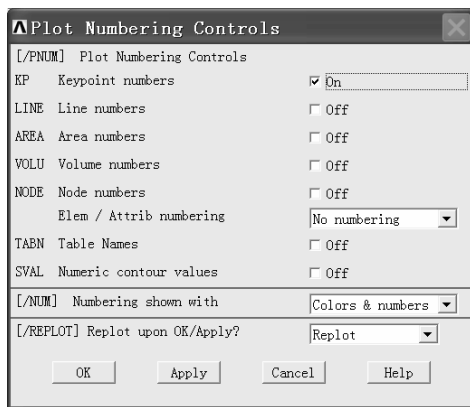


图 2-15 “Plot Numbering Controls”窗口

(7) 单击“Plot Numbering Controls”窗口中的“OK”按钮显示出长方体关键点的编号(见图 2-16)。

(8) 依次选择 Utility Menu>Plot>Volume, 重新显示长方体。

**【例】** 建立一个半径为 0.1 的球体。

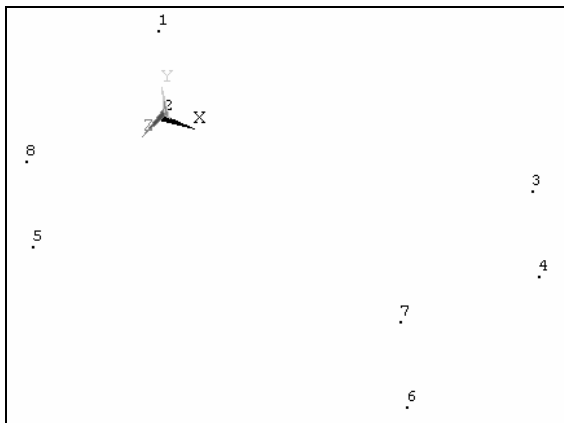


图 2-16 长方体的关键点

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Sphere>Solid Sphere, 弹出“Solid Sphere”窗口。

(2) 在“Solid Sphere”窗口中的三个方框中由上到下依次输入“0”、“0”、“0.1”。该输入表示球心的 X 坐标为 0, Y 坐标也为 0, 其半径为 0.1。单击“OK”按钮。

(3) 操作界面出现球体, 用 Ctrl+鼠标右键改变显示角度后的视图(见图 2-17)。

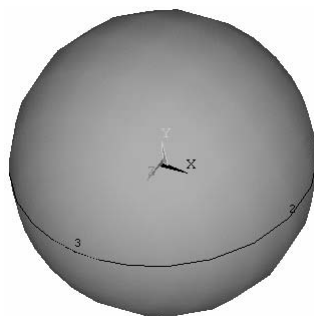


图 2-17 球体

【例】建立一个长为 0.2 的空心圆柱体, 其中内圆半径为 0.05, 外圆半径为 0.1。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>By Dimensions, 弹出“Create Cylinder by Dimensions”窗口(见图 2-18)。

(2) 在“Create Cylinder by Dimensions”窗口“Outer radius”后的方框中输入“0.1”, 在“Optional inner radius”后的方框中输入“0.05”, 在“Z-coordinates”后的两个方框中从左到右分别输入“0”、“0.2”。其他设置保存不变, 单击“OK”按钮。

(3) 图形界面出现生成的圆柱体, 单击操作界面右侧视图工具条上的“Isometric View”按钮(见图 2-19), 得到圆柱体的轴测图, 再单击视图工具条上的“Fit View”按钮, 得到视图的最佳显示比例(见图 2-20)。

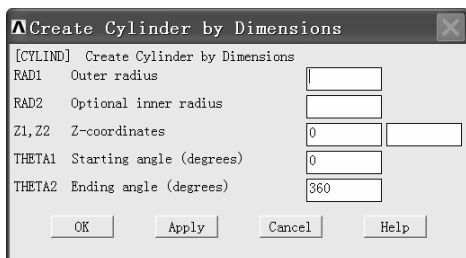


图 2-18 “Create Cylinder by Dimensions”窗口

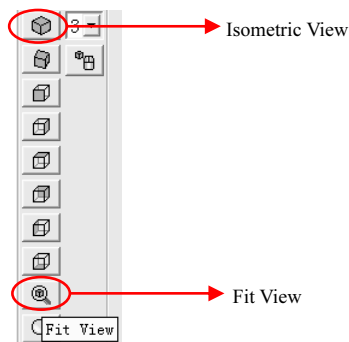


图 2-19 视图工具条



图 2-20 空心圆柱体

## 2.6 模型的删除

当需要修改模型时，常常会用到模型删除命令。删除的模型对象可以是体、面、线、关键点。删除一个模型时可以删除与模型有关的所有元素，如删除体模型时同时删除体上的面、线和关键点；也可以只删除本层级的模型而保留下层级的模型，如删除体模型时却保留体模型的表面、棱边和关键点。下面以体模型为例来介绍删除模型的方法。

**【例】** 删除一个边长为 0.1 的正方体及其下级的图形元素。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口（见图 2-21）。

(2) 在“Create Block by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后边的两个方框中依次输入“0”、“0.1”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后边的两个方框中依次输入“0”、“0.1”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后边的两个方框中依次输入“0”、“0.1”。单击“OK”按钮生成正方体。

(3) 用 Ctrl+鼠标右键旋转视图（见图 2-22）。

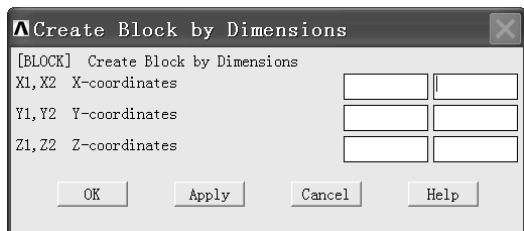


图 2-21 “Create Block by Dimensions”窗口

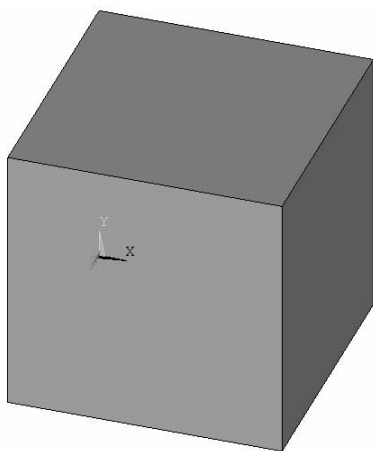


图 2-22 正方体

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volume and Below (Volume and Below 表示既删除体也删除下级图形元素), 弹出“Delete Vol...”窗口 (见图 2-23)。

(5) 用鼠标左键单击正方体, 正方体改变颜色, 再单击“Delete Vol...”窗口中的“OK”按钮。图形界面中的正方体消失。

(6) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 图形窗口中无面模型显示。

(7) 依次选择 Utility Menu>Plot>Lines, 图形窗口中也无线模型显示, 说明下级元素已经被删除。

**【例】** 删除一个边长为 0.1 的正方体的体模型, 但保存其他各层级的图形元素。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口。

(2) 在“Create Block by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后边的两个方框中依次输入“0”、“0.1”; 在“Y1, Y2 Y-coordinates”后边的两个方框中依次输入“0”、“0.1”; 在“Z1, Z2 Z-coordinates”后边的两个方框中依次输入“0”、“0.1”。单击“OK”按钮生成正方体。

(3) 用 Ctrl+鼠标右键旋转视图, 用鼠标中键缩放视图, 改变视图显示角度后的模型如图 2-24 所示。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volume Only (此处无“Below”, 表示只删除体元素而保留下级图形元素), 弹出“Delete Vol...”窗口 (见图 2-25)。

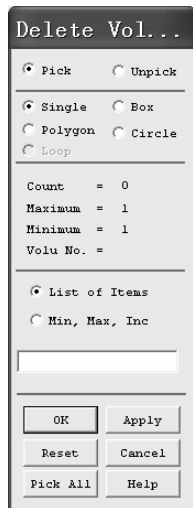


图 2-23 “Delete Vol...”窗口

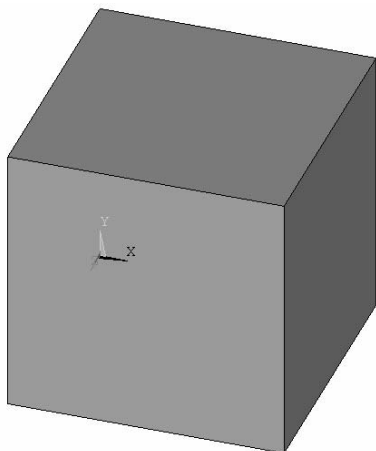


图 2-24 正方体

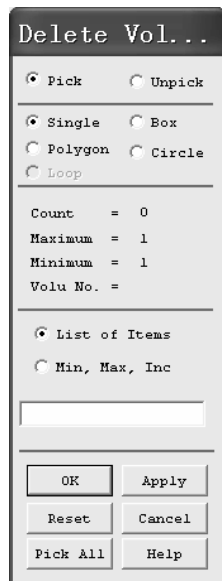


图 2-25 “Delete Vol...”窗口

(5) 用鼠标左键单击正方体, 正方体改变颜色, 再单击“Delete Vol...”窗口中的“OK”按钮, 图形界面中的正方体消失。

(6) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 图形窗口中出现面模型(见图 2-26)。

(7) 依次选择 Utility Menu>Plot>Lines, 图形窗口中出现正方体剩下的棱边(见图 2-27)。

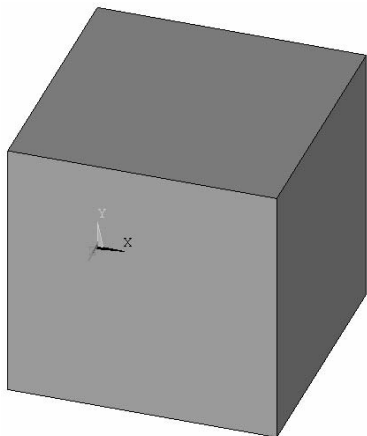


图 2-26 面模型

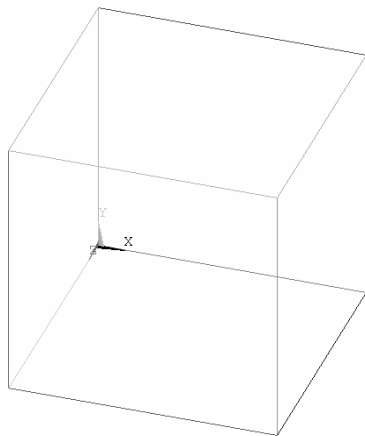


图 2-27 正方体的边

(8) 依次选择 Utility Menu>Plot>Volumes, 图形窗口中无体模型显示, 说明体模型已被删除而其他下级图形元素未被删除。

面、线及关键点的删除也类似。

## 2.7 由下到上建模

ANSYS LS-DYNA 模块虽然给出了一些常用的图形元素, 但遇到比较复杂的形状时需要用到其他方法。对于形状比较复杂的物体可以用由下到上的方法建模。由下到上建模即首先建立关键点, 再建立线和面, 最后建立体。比如, 要建立一个四棱锥, 可以先建立它的四个顶点, 再建立它的四个面, 最后由这四个面包围成一个体。

**【例】** 建立一个直角三角面。三角面的两个直角边分别为 0.3、0.4。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS, 弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口(见图 2-28)。在“X, Y, Z Location in active CS”后面的三个方框中依次输入“0”、“0”、“0”, 单击“Apply”(单击“Apply”后会执行一次命令, 再弹出原来的窗口, 单击“OK”按钮后, 执行一次命令但不再弹出原来的窗口)按钮生成第一个关键点, 再次弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。

(2) 继续在“X, Y, Z Location in active CS”后面的三个方框中依次输入“0.3”、“0”、“0”, 单击“Apply”按钮生成第二个关键点, 再次弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。

(3) 继续在“X, Y, Z Location in active CS”后面的三个方框中依次输入“0”、“0.4”、“0”, 单击“OK”按钮生成第三个关键点。三个关键点显示在图形窗口(见图 2-29), 注意, 第一个关键点被坐标挡住了。

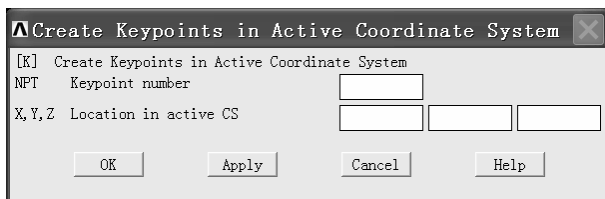


图 2-28 “Create Keypoints in Active Coordinate System” 窗口

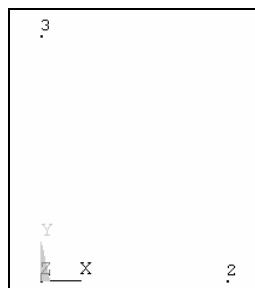


图 2-29 关键点

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>Through KPs, 弹出 “Create Are...” 窗口 (见图 2-30)。

(5) 用鼠标左键依次单击关键点 1、2、3, 然后单击 “Create Are...” 窗口中的 “OK” 按钮, 生成三角面 (见图 2-31)。

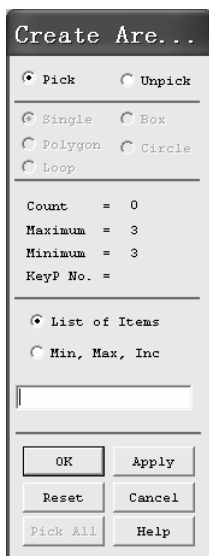


图 2-30 “Create Are...” 窗口

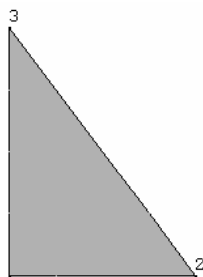


图 2-31 生成三角面

### 【例】 建立一个四棱锥。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS, 弹出 “Create Keypoints in Active Coordinate System” 窗口。在 “X, Y, Z Location in active CS” 后面的三个方框中依次输入 “0”、“0”、“0”, 单击 “Apply” 按钮生成第一个关键点, 再次弹出 “Create Keypoints in Active Coordinate System” 窗口。

(2) 继续在 “X, Y, Z Location in active CS” 后面的三个方框中依次输入 “0.1”、“0”、“0”, 单击 “Apply” 按钮生成第二个关键点, 再次弹出 “Create Keypoints in Active Coordinate System” 窗口。

(3) 继续在 “X, Y, Z Location in active CS” 后面的三个方框中依次输入 “0”、“0.1”、“0”, 单击 “Apply” 按钮生成第三个关键点, 再次弹出 “Create Keypoints in Active Coordinate System” 窗口。

(4) 继续在 “X, Y, Z Location in active CS” 后面的三个方框中依次输入 “0”、“0”、“0”、

“0.1”，单击“OK”按钮生成第四个关键点。

(5) 单击操作界面右侧视图工具条上的“Isometric View”按钮（见图 2-32），将视图转为轴测图（见图 2-33）。

(6) Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>Through KPs，弹出“Create Are...”窗口。

(7) 依次用鼠标单击关键点 1、2、3，单击“Create Are...”上的“Apply”按钮生成第一个面。

(8) 继续用鼠标单击关键点 1、2、4，单击“Create Are...”上的“Apply”按钮生成第二个面。

(9) 继续用鼠标单击关键点 1、3、4，单击“Create Are...”上的“Apply”按钮生成第三个面。

(10) 继续用鼠标单击关键点 2、3、4，单击“Create Are...”上的“OK”按钮生成第四个面。

(11) 用 Ctrl+鼠标右键转动视图，得到一个便于观看的视角，建立的面消失，出现关键点。

(12) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas，消失的面重新出现。

(13) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Arbitrary>By Areas，弹出“Volume by Areas”窗口（见图 2-34）。

(14) 用鼠标左键逐一单击刚才生成的四个面，然后单击“Create Vol...”窗口上的“OK”按钮生成体。

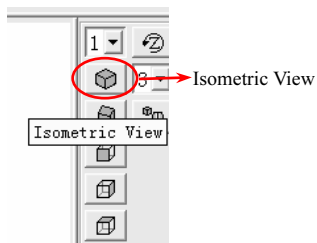


图 2-32 视图工具条

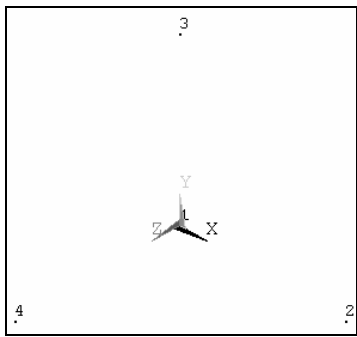


图 2-33 关键点

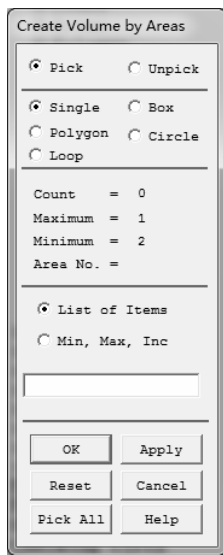


图 2-34 “Create Volume by Areas”窗口

## 2.8 由上到下建模

由上到下建模即是先生成体，次生成面，再生成线，最后生成关键点。由上到下建模的最大好处是大大提高了建模速度，应用方便。比如，要建立一个上端开口的长方体盒



子, 可以先删除体元素, 再删除上表面就行了。

【例】 建立一个上端开口的长方形盒子模型 (面模型)。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出 “Create Block by Dimensions” 窗口 (见图 2-35)。

(2) 在 “Create Block By Dimensions” 窗口中 “X1, X2 X-coordinates” 后面两个方框中依次输入 “0”、“1”; 在 “Y1, Y2 Y-coordinates” 后面两个方框中依次输入 “0”、“0.5”; 在 “Z1, Z2 Z-coordinates” 后面两个方框中依次输入 “0”、“0.5”, 单击 “OK” 按钮生成长方体。

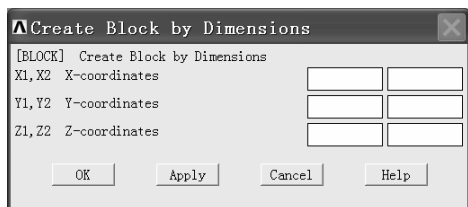


图 2-35 “Create Block by Dimensions” 窗口

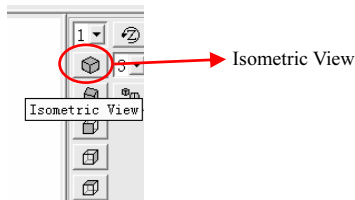


图 2-36 视图工具条

(3) 单击操作界面右侧视图工具条上的 “Isometric View” 按钮 (见图 2-36), 将视图转为轴测图 (见图 2-37)。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volume Only, 弹出 “Delete Vol...” 窗口, 用鼠标左键单击长方体, 然后单击 “Delete Vol...” 窗口上的 “OK” 按钮, 体模型消失。

(5) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 面模型显示。

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Areas Only, 弹出 “Delete Are...” 窗口 (见图 2-38), 用鼠标左键单击长方体的上表面, 然后单击 “Delete Are...” 窗口中的 “OK” 按钮, 上端开口的长方体盒子建成。

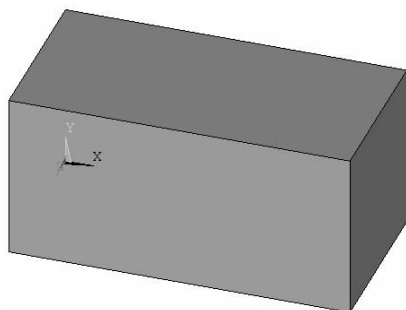


图 2-37 长方体

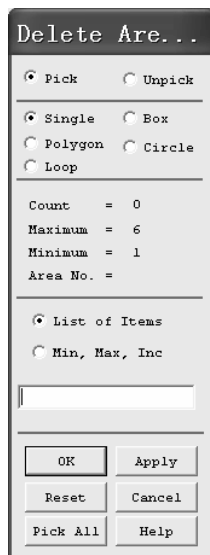


图 2-38 “Delete Are...” 窗口

## 2.9 复制与移动

使用复制命令可以方便地生成重复的模型。使用移动命令可以方便地构造模型的相对位置关系。复制命令可以复制关键点、线、面、体等。

【例】生成两个半径为 0.1 的圆面。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>Solid Circle, 弹出“Solid Circle...”窗口。在“WP X”后的方框中输入“0”，在“WP Y”后的方框中输入“0”，在“Radius”后的方框中输入“0.1”。单击“OK”按钮生成一个圆（见图 2-39）。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Copy>Areas, 弹出“Copy Areas”窗口（见图 2-40）。

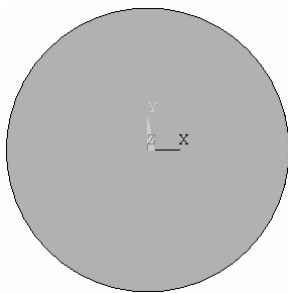


图 2-39 圆

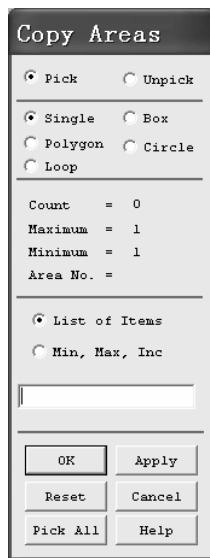


图 2-40 “Copy Areas”窗口

(3) 用鼠标左键单击图形界面的圆，然后单击“Copy Areas”窗口中的“OK”按钮弹出另一个“Copy Areas”窗口（见图 2-41）。在该窗口的“DX X-offset in active CS”后的方框中输入“0.2”，单击 OK 按钮生成另一个圆（见图 2-42），复制生成的圆相对于最初的圆沿 X 轴方向移动了 0.2。

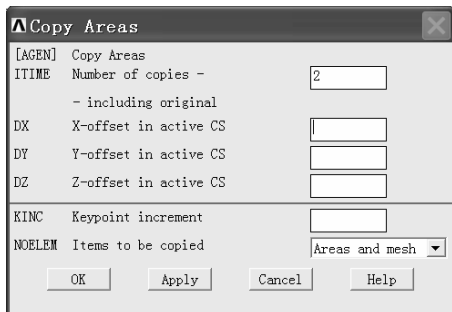


图 2-41 另一个“Copy Areas”窗口

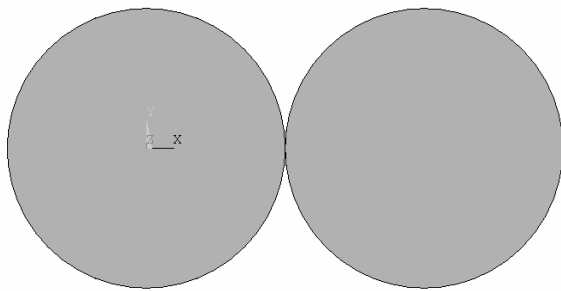


图 2-42 两个圆

(4) 单击操作界面左上角处工具条中的“SAVE\_DB”按钮（见图 2-43），保存文件。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Move/Modify>Areas>Areas，弹出“Move Areas”窗口（见图 2-43）。用鼠标左键单击图中右侧的圆，然后单击“OK”按钮弹出另一种“Move Areas”窗口（见图 2-44）。

(6) 在另一种“Move Areas”窗口中“DY Y-offset in active CS”后的方框中输入“0.2”。单击“OK”按钮，右边的圆向上移动了“0.2”（见图 2-45）。

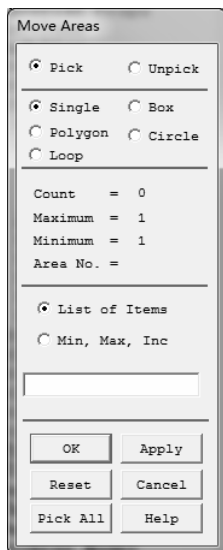


图 2-43 “Move Areas”窗口

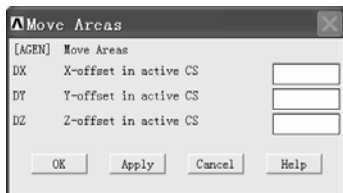


图 2-44 另一种“Move Areas”窗口

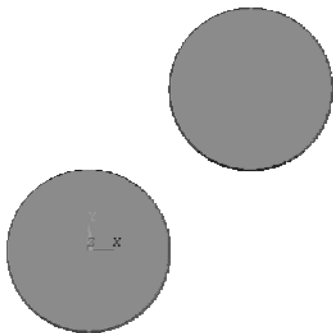


图 2-45 两个圆

## 2.10 布尔运算

布尔运算在建造复杂模型的时候极为有用。运用布尔运算可以将一些简单的图形元素组合为复杂的图形。布尔运算中主要用到的命令有分割、加、减、胶结、重叠、分离等。

### 2.10.1 分割

分割是利用已有的图形元素或坐标面将另一些图形元素切割开。被分割的元素可以是线、面、体。比如，要得到一个圆缺，可以将一个整圆用一个坐标面分割开，得到两个圆缺。然后再删去不需要的圆缺就可以了。

【例】 生成一个半径为 0.1 的半球体。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Sphere>Solid Sphere，弹出“Solid Sphere”窗口。在“Radius”后的方框中输入“0.1”，再单击“OK”按钮生成一个球体。

(2) 单击操作界面右侧视图工具条上的“Isometric View”按钮（见图 2-46），将视图转换为轴测图（见图 2-47），以便观察。

(3) 注意观察图 2-47 中的全局坐标系（由 X、Y、Z 表示），接下来将要显示工作坐标系，初始时这两个坐标系是重合的。依次选择 **Utility Menu>WorkPlane>Display Working Plane**，此时工作坐标系出现（由 WX、WY、WZ 表示）（见图 2-48）。

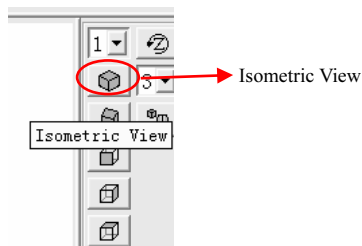


图 2-46 视图工具条

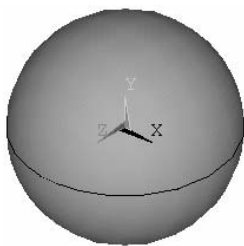


图 2-47 球体中的全局坐标系

(4) 依次选择 **Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Divide>Volu by Wrk Plane**（使用工作平面分割体模型），弹出“Divide Vol...”窗口（见图 2-49）。用鼠标左键单击球体，再单击“OK”按钮，球体被分割成两半（见图 2-50）。注意用于分割球体的工作平面为工作坐标系的 WXWY 面，即是由 W X 轴和 W Y 轴构成的平面。

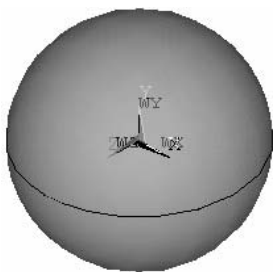
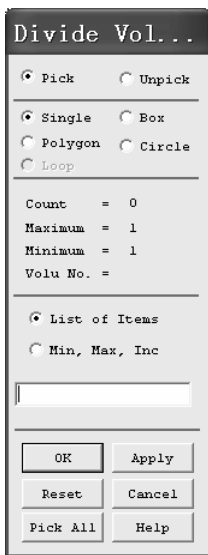
图 2-48 球体中的全局坐标系与  
工作坐标系重合

图 2-49 “Divide Vol...”窗口

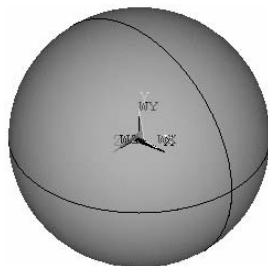


图 2-50 球体被分割成两半

(5) 依次选择 **Main Menu>Preprocessor>Delete>Volume and Below**，弹出“Delete Vol...”窗口（见图 2-51）。用鼠标左键单击离读者较近的一个半球体，再单击“OK”按钮，视图中只剩下半个球体（见图 2-52）。

(6) 选择“Utility Menu”中的“WorkPlane”（见图 2-53），再选择“Display Working Plane”，将“Display Working Plane”前面的勾号取消掉，即隐藏工作坐标系。

【例】生成一个弓形面，其半径为 1，弦高为 0.5。

(1) 依次选择 **Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Circle>Solid Circle**，弹出“Solid Cir...”窗口（见图 2-54）。在“Radius”后的方框中输入“1”，再单击“OK”按钮生成一个圆（见图 2-55）。

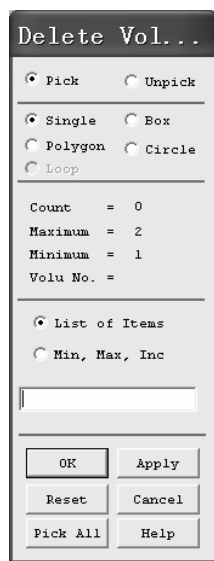


图 2-51 “Delete Vol...” 窗口

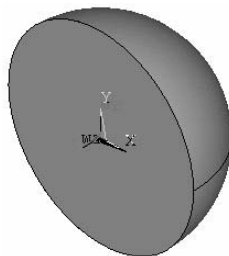


图 2-52 半个球体

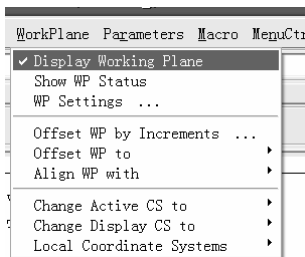


图 2-53 隐藏工作坐标系

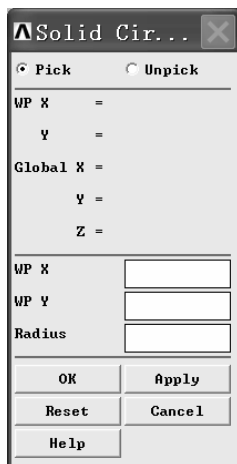


图 2-54 “Solid Cir...” 窗口

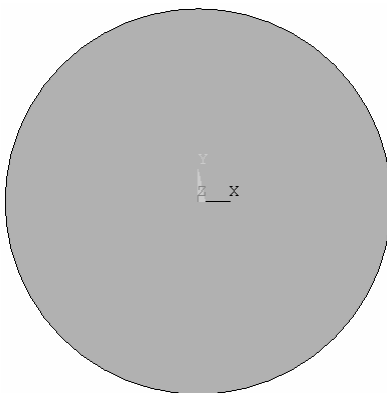


图 2-55 生成圆

(2) 依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Offset WP by Increments..., 弹出“Offset WP”窗口(见图 2-56)。

(3) 因为用于切割的平面为工作平面(即 WXY 平面), 所以应将 WXY 平面与圆面垂直。可以让工作坐标系绕 W X 轴转动  $90^\circ$ , 即在“Offset WP”窗口中“XY, YZ, ZX Angles”下的方框中输入“0,  $90^\circ$ , 0”(注意引号中的逗号为半角), 这表示绕 WZ、WX、WY 轴的转角分别为  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ 。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Divide>Area by WrkPlane, 弹出“Divide Are...”窗口(见图 2-57)。单击“Pick All”按钮, 表示选中所有对象并执行分割, 此图中的对象即为圆面。圆面被分为上下两个半圆(见图 2-58, 注意图中的坐标系)。

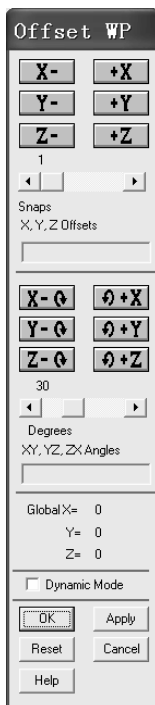


图 2-56 “Offset WP” 窗口

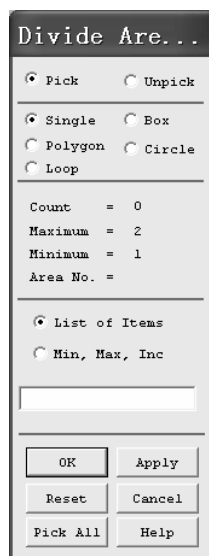


图 2-57 “Divide Are...” 窗口

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Delete>Area and Below, 弹出“Delete Are...”窗口 (见图 2-59)。用鼠标左键单击下侧的半个圆, 单击“OK”按钮。视图中只剩下半个圆 (见图 2-60, 注意图中的坐标系)。

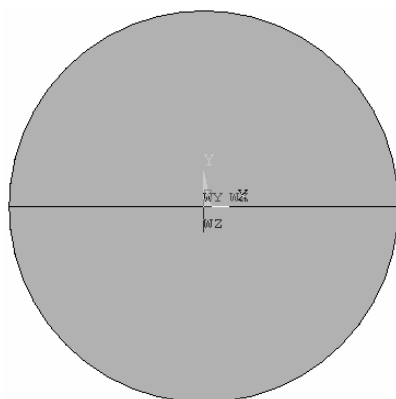


图 2-58 两个半圆

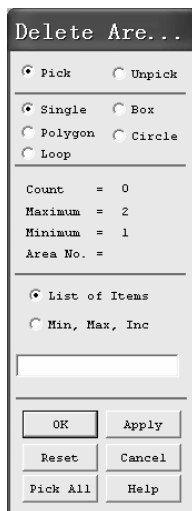


图 2-59 “Delete Are...” 窗口

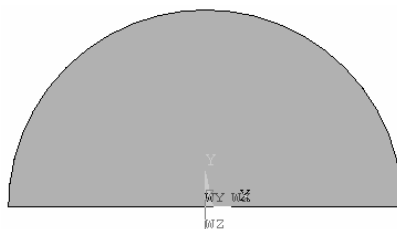


图 2-60 半个圆

(6) 依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Offset WP by Increments..., 弹出“Offset WP”窗口。在“X、Y、Z Offsets”下的方框中输入“0, 0, -0.5” (注意引号中的逗号为半角)。此输入表示把工作坐标系沿 WZ 轴的负方向移动 0.5。单击“OK”按钮, 工作坐标系

已经移动（见图 2-61）。

（7）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Divide>Area by WorkPlane，弹出“Divide Are...”窗口，单击“Pick All”按钮，半圆面被分为上下两部分（见图 2-62）。

（8）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Delete>Area and Below，弹出“Delete Are...”窗口，用鼠标左键单击下侧的面模型。单击“OK”按钮，视图中只剩下弓形面（见图 2-63）。

（9）依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Align WP with>Global Cartesian，此操作表示让工作坐标系与全局坐标系重合。为了避免错误，通常在建立一个模型后应及时将工作坐标系与全局坐标系重合。

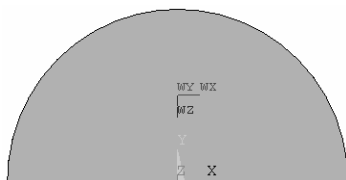


图 2-61 工作坐标系移动后

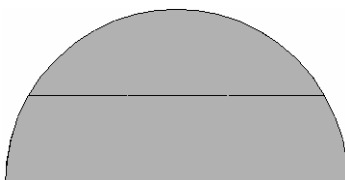


图 2-62 半圆被分为两部分

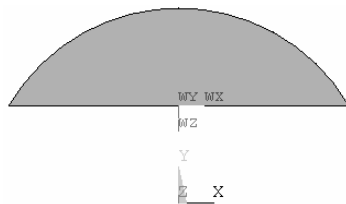


图 2-63 弓形面

其他类型的分割运算与运用工作面分割的方法相似。

## 2.10.2 相加

加运算可以将单独存在的一些模型连成一个整体（见图 2-64），因此可以用加运算构建复杂的模型。面、体都可以进行加运算，但只能是同层级的图形元素之间相互运算，如面只能和面相加。

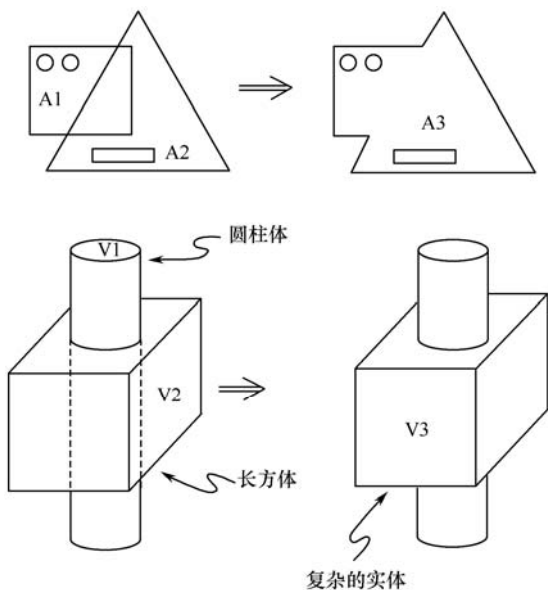


图 2-64 加的逻辑运算

【例】将两个长方体拼成一个 L 形的体模型。

(1) 单击操作界面右侧视图工具条上的“Isometric View”按钮，将视图改为轴测图。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions，弹出“Create Block by Dimensions”窗口（见图 2-65）。在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.1”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.2”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.2”，单击“Apply”按钮生成一个方块，并再次弹出“Create Block by Dimensions”窗口。

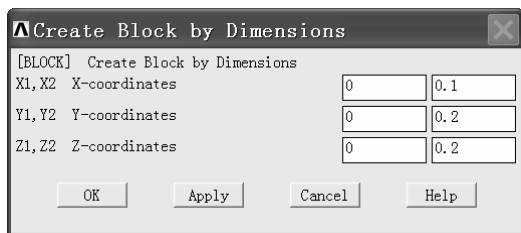


图 2-65 “Create Block by Dimensions”窗口

(3) 在再次弹出的“Create Block by Dimensions”窗口中进行如下操作（见图 2-66）：在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“0.1”、“0.3”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.1”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.2”，单击“OK”按钮，第二个方块生成（见图 2-67）。

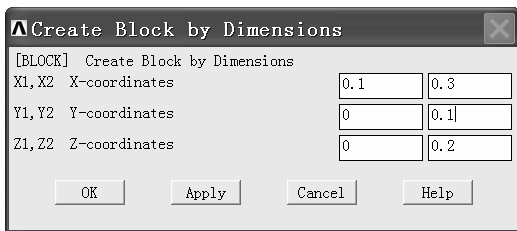


图 2-66 “Create Block by Dimensions”窗口

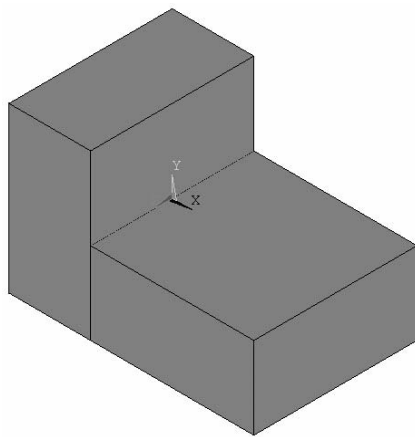


图 2-67 两个方块

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Add>Volumes，弹出“Add Volumes”窗口（见图 2-68）。单击“Pick All”按钮，两个分离的方块变成一个整体，即使再受力时，这两个方块也始终不会分开。

### 2.10.3 胶结

胶结运算可以将单独存在的一些模型连成一个整体（见图 2-69），因此可以用胶结运算构建复杂的模型。线、面、体都可以进行胶结运算，但只能是同层级图形元素之间的相互运算，如面只能和面相胶结。



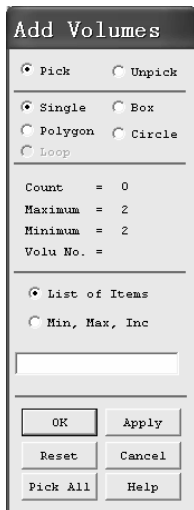


图 2-68 “Add Volumes” 窗口

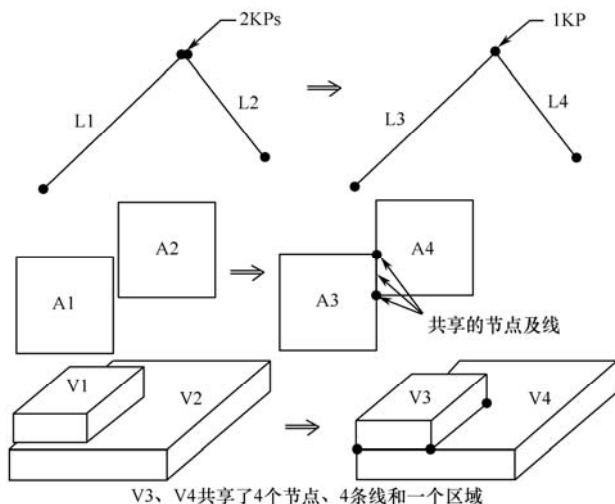


图 2-69 胶结的逻辑运算

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions, 弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口 (见图 2-70), 在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“0.1”。在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“0.3”, 单击“Apply”按钮, 生成第一个矩形面, 并再次弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口。

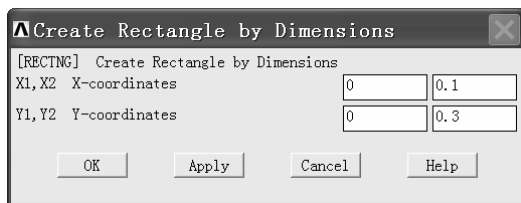


图 2-70 “Create Rectangle by Dimensions” 窗口

(2) 继续在“Create Rectangle by Dimensions”窗口中进行如下操作: 在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中依次输入“0.1”、“0.3”。在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“0.1”, 单击“OK”按钮, 生成第二个矩形面 (见图 2-71)。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas, 弹出“Glue Areas”窗口 (见图 2-72), 单击“Pick All”按钮, 两个矩形面黏结在了一起, 即使再受力时, 这两个矩形也始终不会分开。



### 应用·技巧

相加和胶结都可以将同层级的多个图形元素连接在一起。他们的区别是: 使用加以后, 图形元素之间的接触边界不再保留, 好比两块铁熔合在一起后无边界; 使用胶结以后, 图形元素之间的接触边界仍然存在, 就像把两块铁用胶粘在一起后还能区分二者一样。通常使用胶结可以方便以后的单元划分操作和定义结构的材料属性。

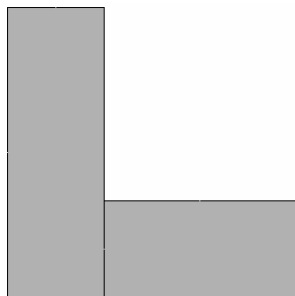


图 2-71 两个矩形面

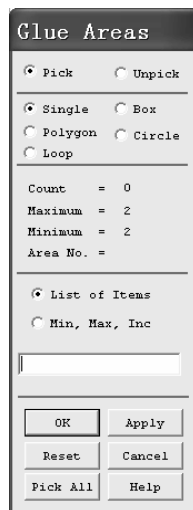


图 2-72 “Glue Areas” 窗口

### 2.10.4 重叠

重叠可以对线、面、体进行运算（见图 2-73）。只有同层级的图形元素可以进行重叠运算。

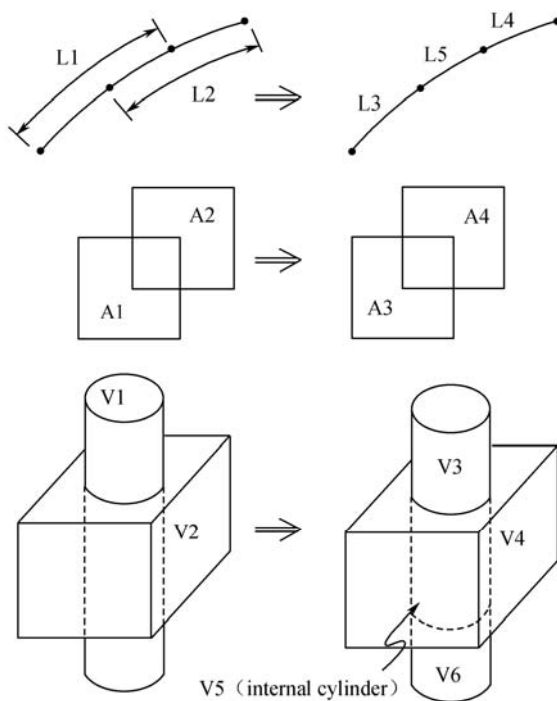


图 2-73 重叠的逻辑运算

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions, 弹出 “Create Rectangle by Dimensions” 窗口（见图 2-74）。在 “X1, X2 X-coordinates”

后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.3”、“0.3”，单击“Apply”按钮，生成第一个面，再次弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口。

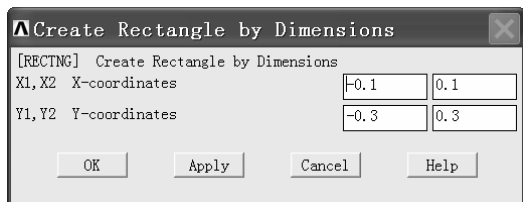


图 2-74 “Create Rectangle by Dimensions”窗口

(2) 继续对“Create Rectangle by Dimensions”窗口进行如下操作：在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.3”、“0.3”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，单击“OK”按钮，生成第二个面（见图 2-75）。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Overlap>Areas，弹出“Overlap Areas”窗口（见图 2-76），单击“Pick All”按钮对两个面进行重叠运算。

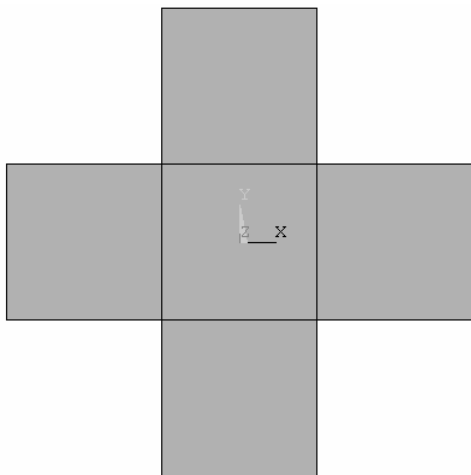


图 2-75 两个矩形

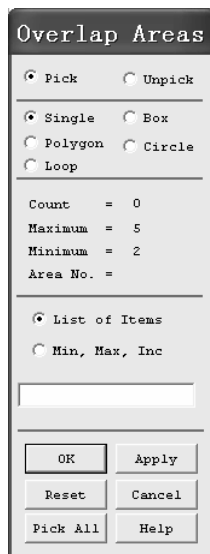


图 2-76 “Overlap Areas”窗口

## 2.10.5 分离

分离可以对线、面、体进行同层级运算（见图 2-77）。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions，弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口（见图 2-78）。在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.3”、“0.3”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，单击“Apply”按钮生成第一个面，再次弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口。

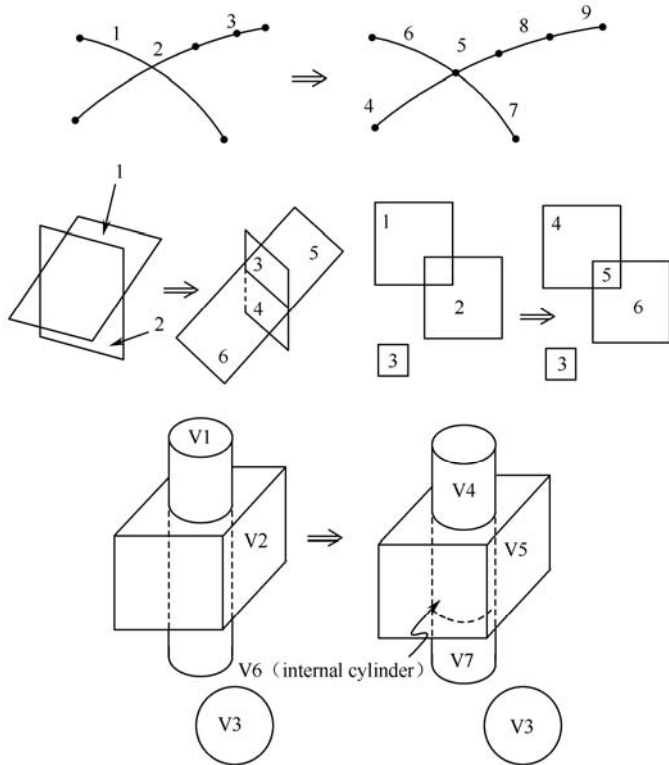


图 2-77 分离的逻辑运算

(2) 继续对“Create Rectangle by Dimensions”窗口进行如下操作：在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.3”、“0.3”，单击“OK”按钮生成第二个面（见图 2-79）。

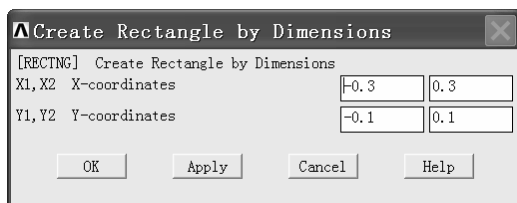


图 2-78 “Create Rectangle by Dimensions”窗口

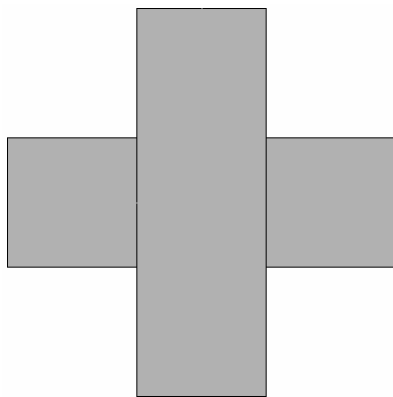


图 2-79 生成的两个矩形面

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Partition>Areas, 弹出“Partition...”窗口（见图 2-80），单击“Pick All”按钮对两个面进行分离运算。

(4) 依次选择 Utility Menu>List>Areas, 弹出“ALIST Command”窗口（见图 2-81）。该窗口显示图形界面上共有 5 个面元素，这就是分离运算后得到的面元素。

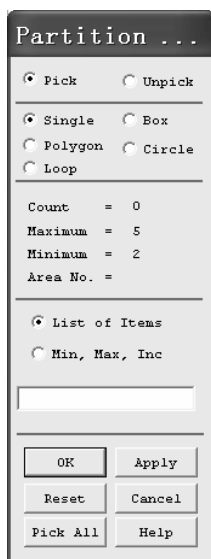


图 2-80 “Partition...” 窗口

| ALIST Command            |      |       |    |    |        |           |        |       |     |      |     |      |      |
|--------------------------|------|-------|----|----|--------|-----------|--------|-------|-----|------|-----|------|------|
| File                     |      |       |    |    |        |           |        |       |     |      |     |      |      |
| LIST ALL SELECTED AREAS. |      |       |    |    |        |           |        |       |     |      |     |      |      |
| NUMBER                   | LOOP | LINES |    |    | AREA   | ELEM SIZE | #NODES | #ELEM | MAT | REAL | TYP | ESYS | SECN |
| 3                        | 1    | 1     | 10 | 11 | 9 N/A  | 0.000     | 0      | 0     | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    |
| 4                        | 1    | 12    | 3  | 13 | 14 N/A | 0.000     | 0      | 0     | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    |
| 5                        | 1    | 15    | 6  | 16 | 17 N/A | 0.000     | 0      | 0     | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    |
| 6                        | 1    | 18    | 20 | 19 | 8 N/A  | 0.000     | 0      | 0     | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    |
| 7                        | 1    | 17    | 14 | 20 | 11 N/A | 0.000     | 0      | 0     | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    |

图 2-81 “ALIST Command” 窗口

## 2.10.6 相减

减运算可以用于从一个图形元素中除去某一部分或者将一个图形元素分割成多个部分。如从一个实体中挖个孔等。

(1) 单击操作界面右侧视图工具条上的“Isometric View”按钮（见图 2-82）。将视图改为轴测图。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Block>By Dimensions，弹出“Create Block by Dimensions”窗口（见图 2-83）。在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.3”、“0.3”，单击“Apply”按钮，生成一个方块（见图 2-84），并再次弹出“Create Block by Dimensions”窗口。

(3) 在再次弹出的“Create Block by Dimensions”窗口中进行如下操作（见图 2-85）：在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.2”、“0.2”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.2”、“0.2”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.1”、“0.1”，单击“OK”按钮，第二个方块生成（见图 2-86）。单击操作界面左上角工具条中的“Save\_DB”按钮（见图 2-87），保存文件。

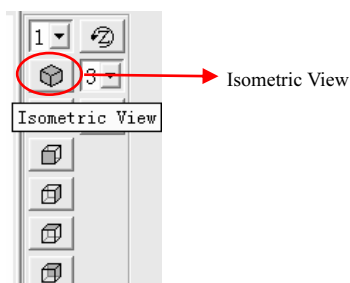


图 2-82 视图工具条

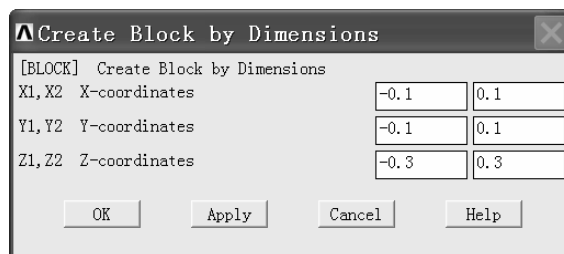


图 2-83 “Create Block by Dimensions” 窗口

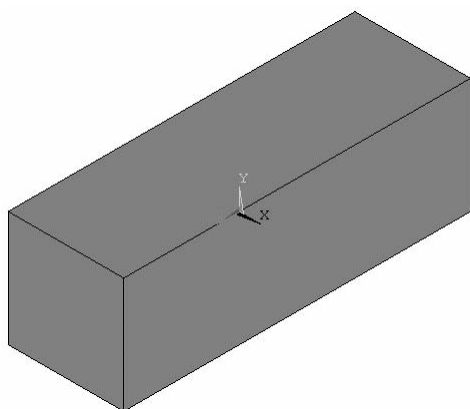


图 2-84 一个方块

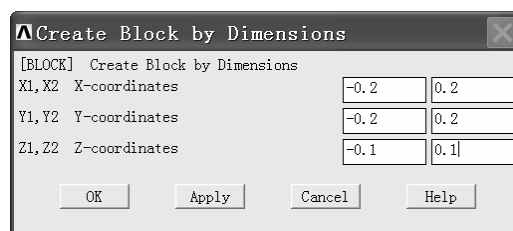


图 2-85 “Create Block by Dimensions” 窗口

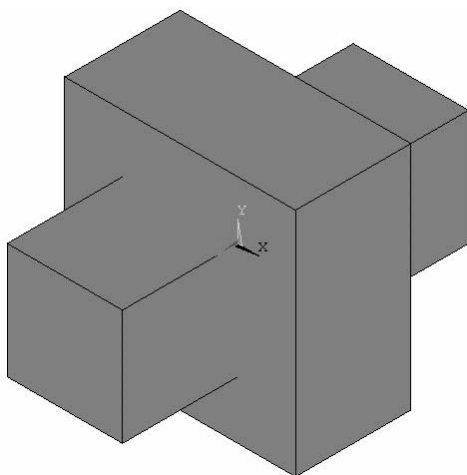


图 2-86 生成第二个方块

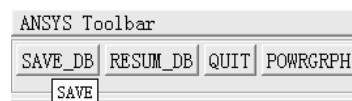


图 2-87 工具条

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Subtract>Volumes, 弹出“Subtract V...”窗口(见图 2-88), 用鼠标单击体模型, 较为细长的长方体变色, 表示被选中, 同时弹出“Multiple\_Entities”窗口(见图 2-89)。

(5) 用鼠标左键单击“Multiple\_Entities”窗口中的“Next”按钮, 图中较扁平的长方体被选中(见图 2-90), 单击“Subtract V...”窗口中的“OK”按钮, 再次弹出“Subtract V...”窗口(见图 2-91)。

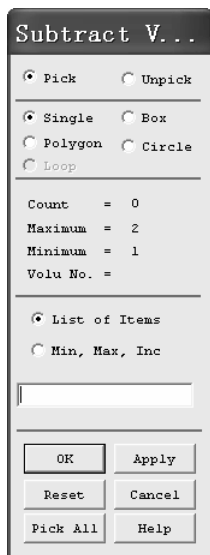


图 2-88 “Subtract V...”窗口

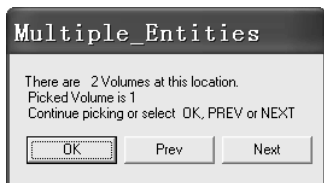


图 2-89 “Multiple\_Entities”窗口

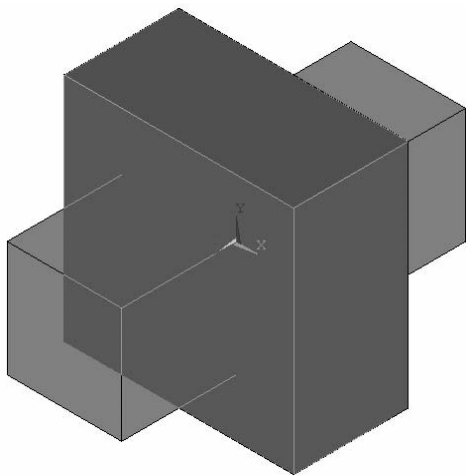


图 2-90 扁平长方体被选中

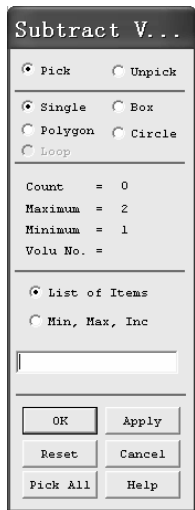


图 2-91 “Subtract V...”窗口

(6) 用鼠标左键单击图形界面的长方体, 较为细长的长方体被选中, 同时弹出“Multiple\_Entities”窗口(见图 2-92), 直接单击“Subtract V...”窗口中的“OK”按钮, 同时生成一个中空体的模型(见图 2-93)。

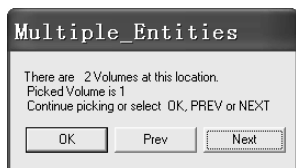


图 2-92 “Multiple\_Entities”窗口

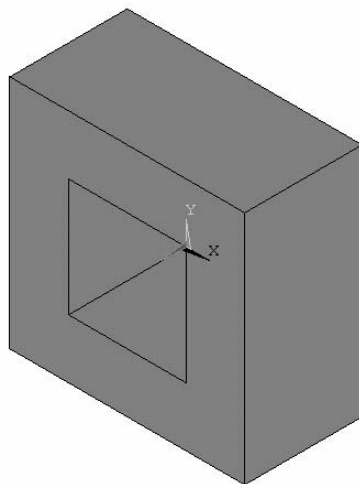


图 2-93 空心体模型

## 2.11 实例 1——建立空心体模型

本例题要求建立一个如图 2-94 所示的空心体模型。该模型中有两个同轴的圆柱体，它们沿轴线由方孔贯穿。

操作步骤如下。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>Solid Cylinder, 弹出“Solid Cyl...”窗口(见图 2-95)。在“Radius”后输入“0.1”，在“Depth”后输入“0.4”。再单击“Apply”按钮，生成一个圆柱体(见图 2-96)，同时再次弹出“Solid Cyl...”窗口。

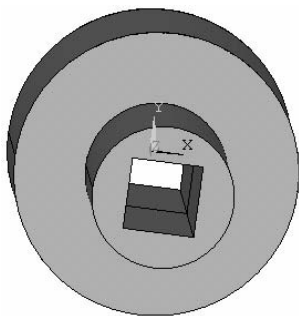


图 2-94 空心体模型

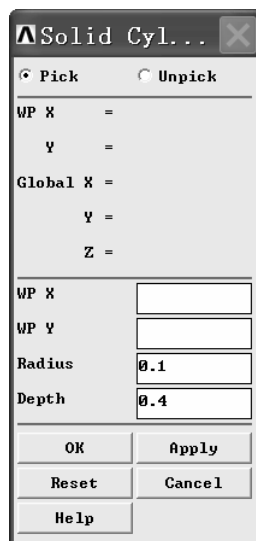


图 2-95 “Solid Cyl...”窗口(1)



(2) 在新弹出的“Solid Cyl...”窗口中进行如下操作(见图 2-97): 在“Radius”后输入“0.2”, 在“Depth”后输入“0.2”, 单击“OK”按钮, 生成另一个圆柱体(见图 2-98)。

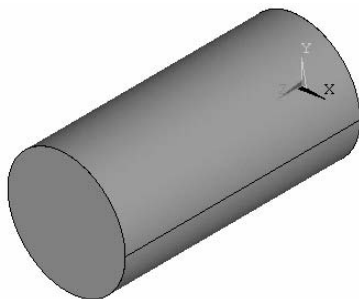


图 2-96 生成一个圆柱体

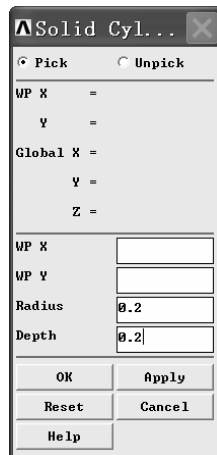


图 2-97 “Solid Cyl...”窗口(2)

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口(见图 2-99)。在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.05”、“0.05”, 在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.05”、“0.05”, 在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.4”, 单击“OK”按钮, 生成一个方块。

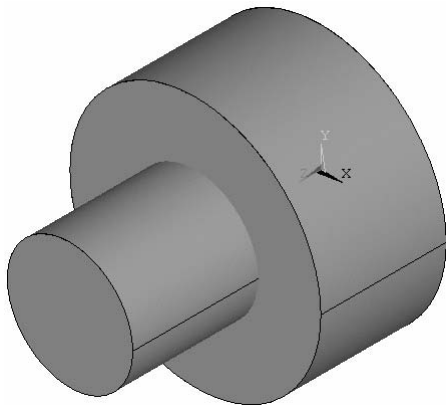


图 2-98 两个圆柱体

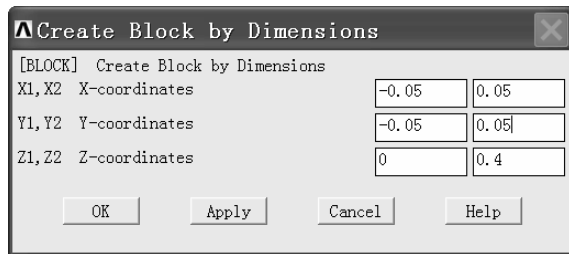


图 2-99 “Create Block by Dimensions”窗口

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Booleans>Partition>Volumes, 弹出“Patition...”窗口(见图 2-100), 单击“Pick All”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volume and Below, 弹出“Delete Vol...”窗口, 用鼠标左键选中方形体(见图 2-101), 单击“Delete Vol...”窗口中的“OK”按钮, 生成空心体(见图 2-102)。

(6) 依次选择 Utility Menu>List>Volumes, 弹出“VLIST Command”窗口(见图 2-103), 图中显示空心体由三个体构成。

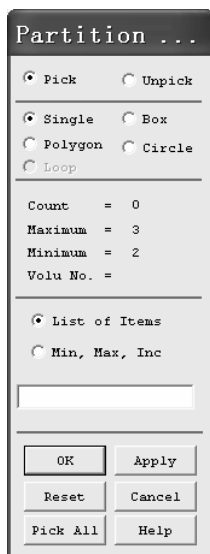


图 2-100 “Partition...” 窗口

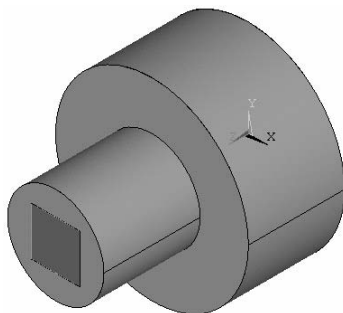


图 2-101 方形体被选中

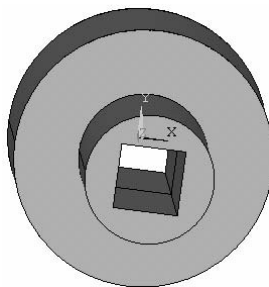


图 2-102 空心体

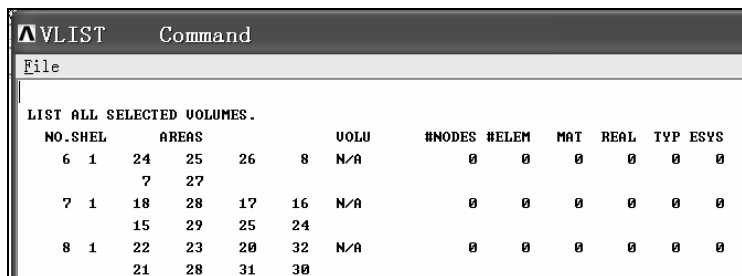


图 2-103 “VLIST Command” 窗口

## 2.12 实例 2——建立壳体模型

本例题要求建立图 2-104 中的壳体模型。

操作步骤如下。

(1) 单击操作界面右侧视图工具条中的“Isometric View”按钮（见图 2-105），将视图变为轴测图。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口（见图 2-106）。在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中分别输入“-0.2”、“0.2”，在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.1”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中分别输入“0”、“0.2”，单击“OK”按钮，生成一个方块（见图 2-107）。

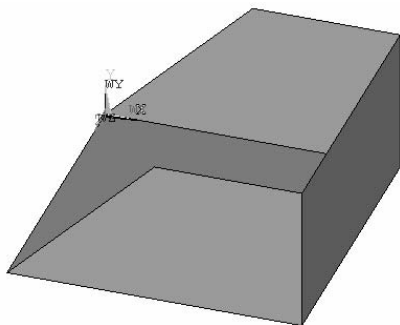


图 2-104 壳体模型

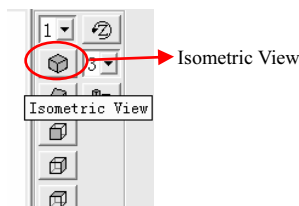


图 2-105 视图工具条

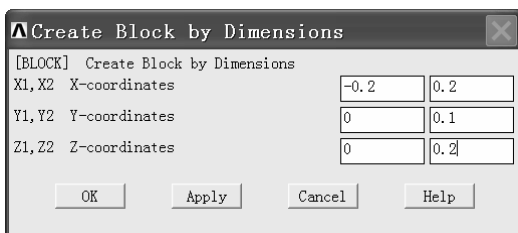


图 2-106 “Create Block by Dimensions” 窗口

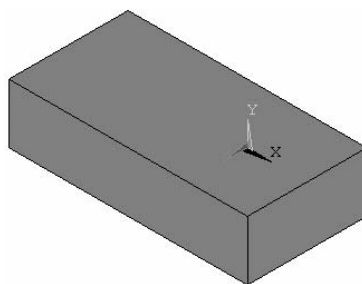


图 2-107 生成一个方块

(3) 依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Offset WP by Increments..., 弹出“Offset WP”窗口(见图 2-108)。在“XY, YZ, ZX Angles”下的方框中输入“0, 0, 90”(引号内的逗号为半角)。单击“Apply”按钮重新弹出“Offset WP”窗口。以上操作表示工作坐标系绕工作坐标系的 WY 轴转(正对 WY 箭头时按逆时针方向)90°。

(4) 在重新弹出的“Offset WP”窗口中“XY, YZ, ZX Angles”下的方框中输入“0, 45, 0”(引号内的逗号为半角, 见图 2-109), 单击“OK”按钮。以上操作表示工作坐标系绕工作坐标系的 WX 轴转 45°。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Divide>Volu by WrkPlane, 弹出“Divide Vol...”窗口(见图 2-110), 单击“Pick All”按钮, 长方体被分割为两块(见图 2-111)。

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volume and Below, 弹出“Delete Vol...”窗口(见图 2-112)。用鼠标左键选中左侧的分割体(见图 2-113), 单击“OK”按钮, 左侧分割体被删除(见图 2-114)。

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volume Only, 弹出“Delete Vol...”窗口(见图 2-115), 单击“Pick All”按钮, 图形界面中的体元素消失。这里是仅删除体, 保留下一层级的图形元素。

(8) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 图形窗口中出现面元素, 再单击操作窗口右侧视图工具条上的“Oblique View”按钮(见图 2-116), 改变视图的角度。

(9) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Area and Below, 弹出“Delete Are...”窗口, 用鼠标选中图形的上表面和左侧的倾斜面(见图 2-117), 单击“OK”按钮, 出现图 2-118 所示的板壳模型。

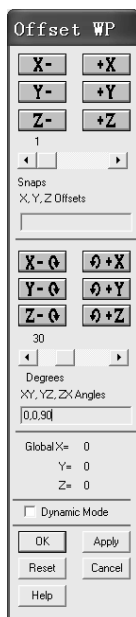


图 2-108 “Offset WP” 窗口 (1)

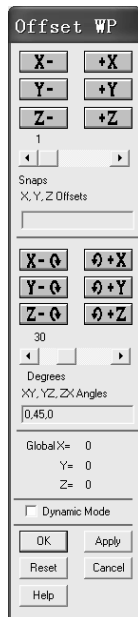


图 2-109 “Offset WP” 窗口 (2)

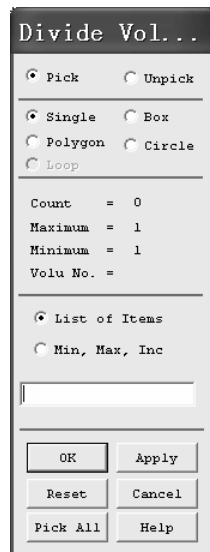


图 2-110 “Divide Vol...” 窗口

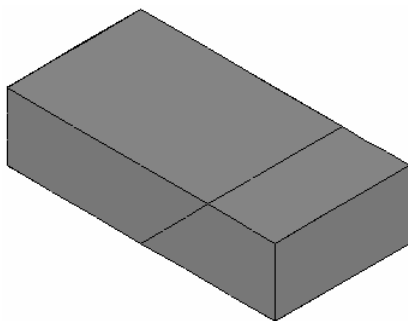


图 2-111 长方体被分割

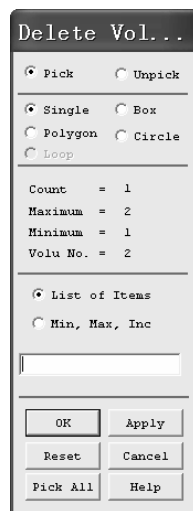


图 2-112 “Delete Vol...” 窗口

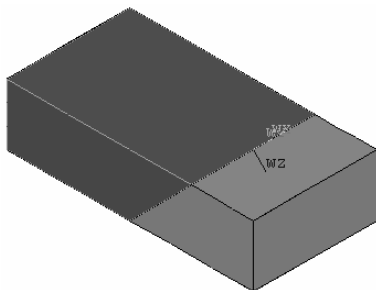


图 2-113 左侧分割体被选中

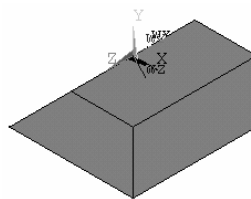


图 2-114 左侧分割体被删除

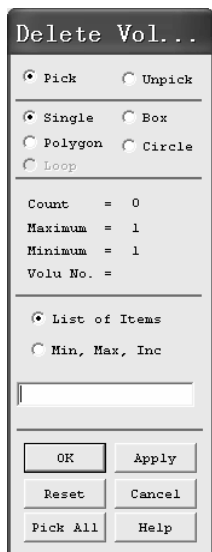


图 2-115 “Delete Vol...” 窗口

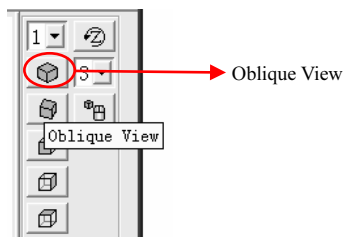


图 2-116 “Delete Vol...” 窗口

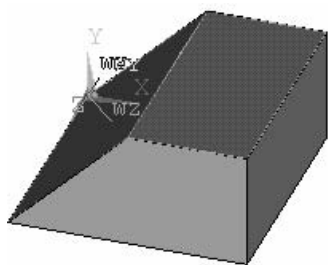


图 2-117 各面被选中

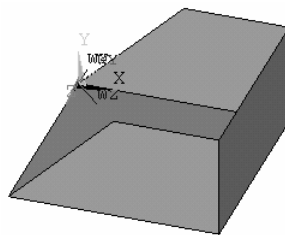


图 2-118 最终的板壳模型

(10) 依次选择 Utility Menu>WorkPlane>Align WP with>Global Cartesian, 将工作坐标系和全局坐标系重合。将鼠标指向图形界面后滚动鼠标的中键来缩放视图, 注意观察工作坐标系 (见图 2-119)。

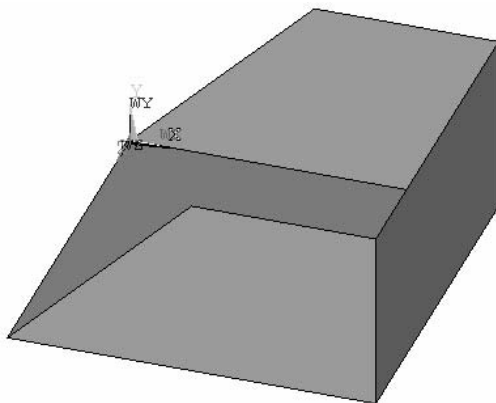
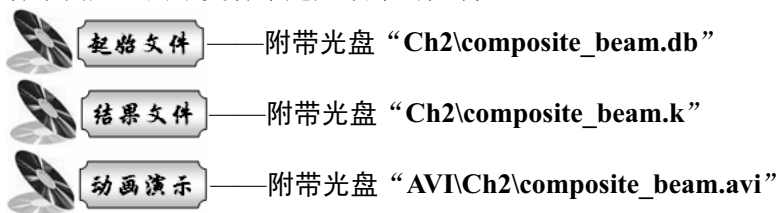


图 2-119 工作坐标系与全局坐标系重合

## 2.13 实例 3——复合梁的碰撞问题

本例题在 ANSYS LS-DYNA 模块下建模和求解, 在 LS-PREPOST 后处理器中查看结果, 本例题演示了使用实体模型做数值模拟的一些方法。例题中使用 kg-m-s 制国际单位。

设置本例题的目的是为了加深初学者对建模操作的熟练程度及让读者对建模求解整个过程有循序渐进的理解。同样地, 后面的各章中都设置了既加强各章主要内容理解又兼顾整个建模求解过程的熟练掌握的例题。这些例题给出了详细的操作步骤, 都有很好的独立性, 各个例题之间不受各章先后顺序的限制。



### 【问题描述】

如图 2-120 所示, A 圆筒以  $v=20\text{m/s}$  的初速度竖直向下撞击在由 B、C 梁板组成的复合梁上 (复合梁即是多层梁板叠放起来, 并将它们的接触面黏结在一起成为一个整体的梁结构)。复合梁为左边端面固定的悬臂结构。A 圆筒的轴线正好与复合梁的自由端面平齐。

A 圆筒外径为  $0.08\text{m}$ , 内径为  $0.04\text{m}$ , 长度为  $0.04\text{m}$ 。其材料为钢, 且为双线性材料 (单向拉伸时, 材料的应力与应变关系表现为图 2-121 所示的曲线趋势), 其杨氏模量为  $E_1=2.1\times 10^{11}\text{Pa}$ , 切线模量为  $E_{\tan 1}=2\times 10^9\text{Pa}$ , 泊松比  $\lambda_1=0.3$ , 密度  $\rho_1=7850\text{kg/m}^3$ , 屈服应力  $Y_1=2\times 10^8\text{Pa}$ 。

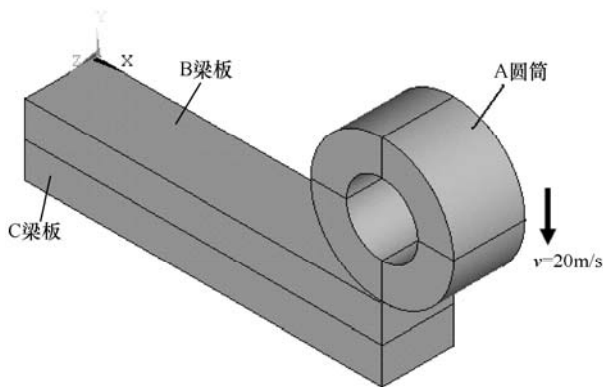


图 2-120 A 圆筒撞击复合梁

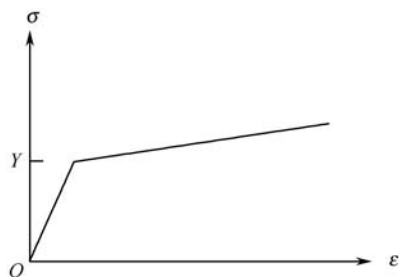


图 2-121 双线性材料的应力应变关系示意图

B 梁板端面尺寸为  $0.02\text{m}\times 0.04\text{m}$ , B 梁板长为  $0.2\text{m}$ 。其材料与 A 圆筒的材料完全相同, 即是其杨氏模量为  $E_2=2.1\times 10^{11}\text{Pa}$ , 切线模量为  $E_{\tan 2}=2\times 10^9\text{Pa}$ , 泊松比  $\lambda_2=0.3$ , 密度为  $\rho_2=7850\text{kg/m}^3$ , 屈服应力  $Y_2=2\times 10^8\text{Pa}$ 。

C 梁板的端面尺寸为  $0.02\text{m}\times 0.04\text{m}$ 。B 梁板长为  $0.2\text{m}$ , 其材料为铝合金, 且为双线性材料。其杨氏模量为  $E_3=1\times 10^{11}\text{Pa}$ , 切线模量为  $E_{\tan 3}=1\times 10^9\text{Pa}$ , 泊松比  $\lambda_3=0.3$ , 密度为

$\rho_3=2700\text{kg/m}^3$ ，屈服应力  $Y_3=1\times 10^8\text{Pa}$ 。

要求：观察撞击过程中复合梁板自由端的位移情况。

本例题建模时用到一个主要技巧：胶结命令。使用该命令大大方便了单元划分过程。本例题从打开前处理的操作界面开始到最终查看后处理结果为止。本例的 K 文件、后处理动画和操作演示过程保存在附带光盘中。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“ANSYS Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 2-122）。单击“ANASYS Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口（见图 2-123）。

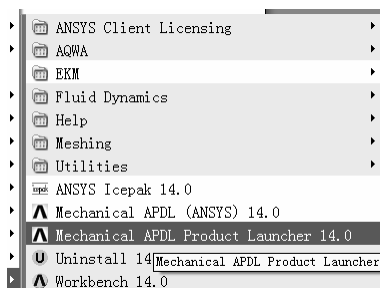


图 2-122 “ANSYS Product Launcher”图标

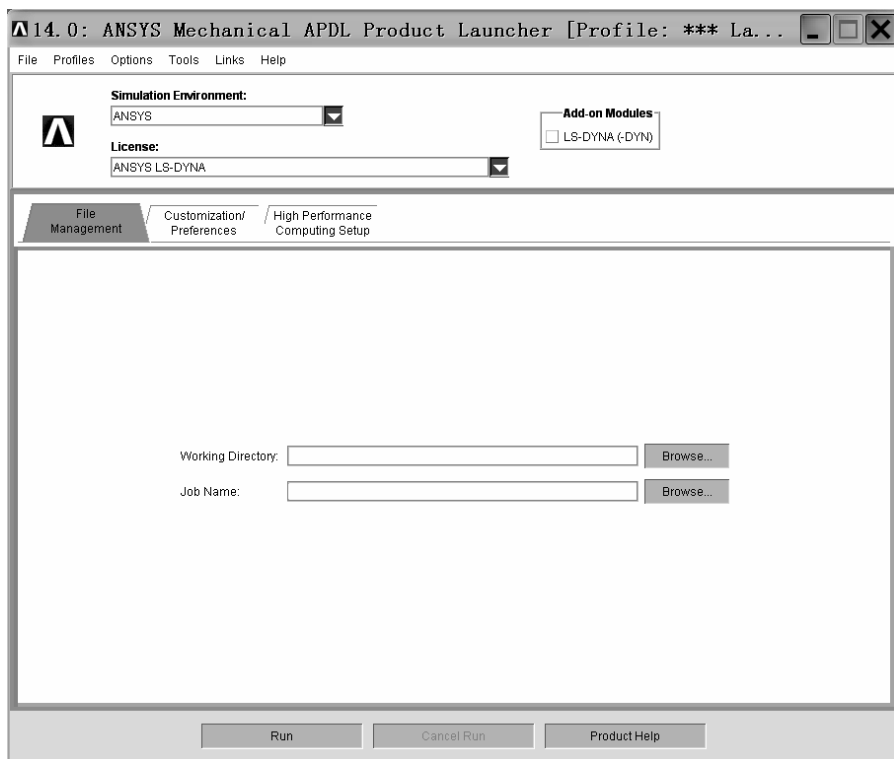


图 2-123 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\composite\_beam”(输入的内容在引号中。下同)。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Job Name:”方框内输入“composite\_beam”。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Run”按钮, 弹出“ANSYS Mechanical APDL Launcher Query”窗口(见图 2-124)。

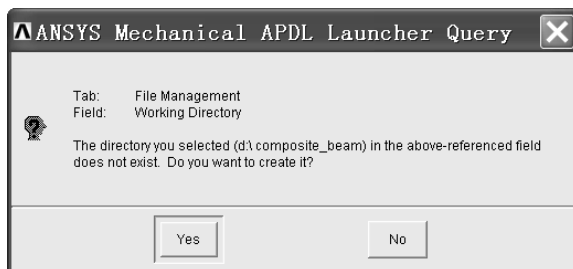


图 2-124 “ANSYS Mechanical APDL Product Query”窗口

(7) 单击“ANSYS Mechanical APDL Product Query”窗口中的“Yes”按钮, 弹出 ANSYS LS-DYNA 的操作界面(见图 2-125)。

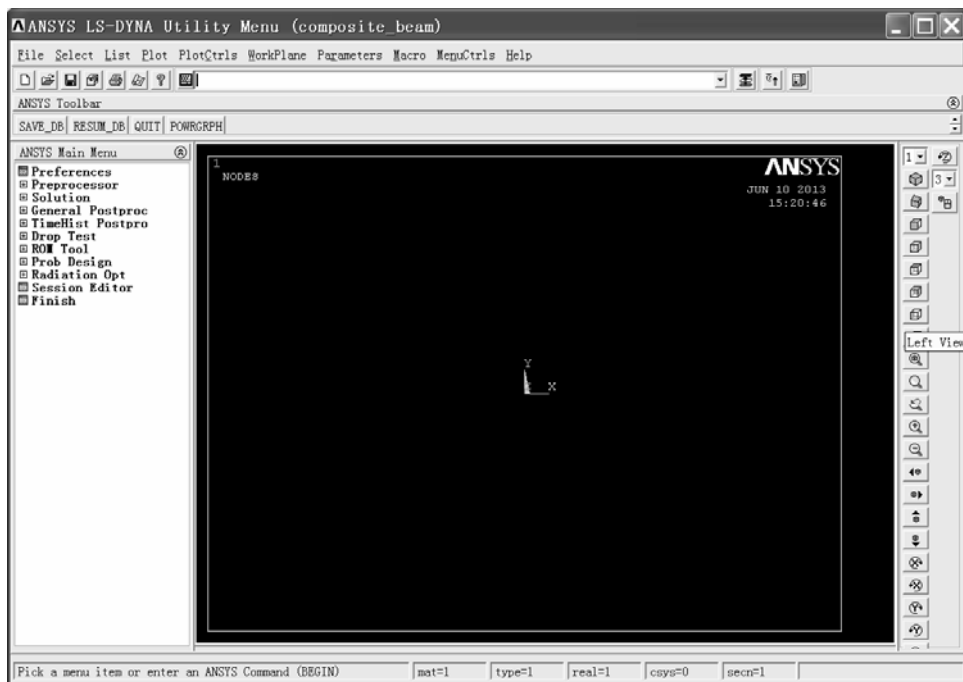


图 2-125 ANSYS LS-DYNA 操作界面



## 2. 设置单元

(1) 依次选择 **Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video** (如果对这个操作不理解, 请参考本书第 1 章 1.4 节的“入门引例”), 将图形窗口的背景变为白色 (见图 2-126), 以便后续操作中更清楚地观看视图。

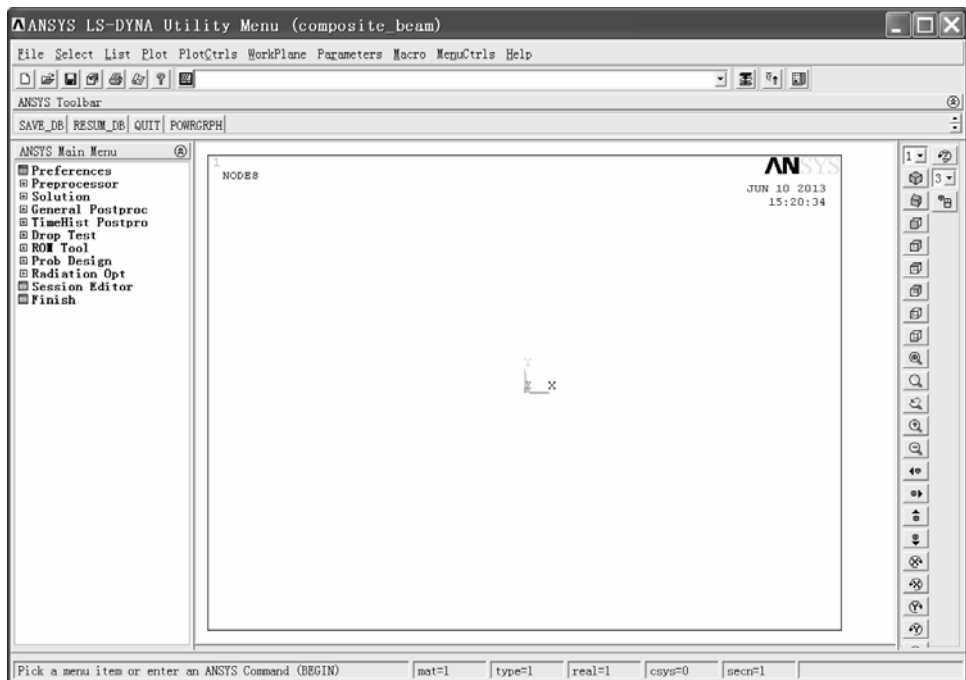


图 2-126 ANSYS LS-DYNA 操作界面

(2) 依次选择 **Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete** (如果对这个操作不理解, 请参考本书第 1 章 1.4 节的“入门引例”), 弹出“Element Types”窗口 (见图 2-127)。

(3) 单击“Element Types”窗口中的“Add”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口 (见图 2-128)。

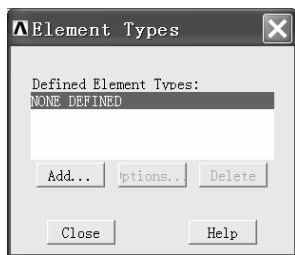


图 2-127 “Element Types”窗口 (1)

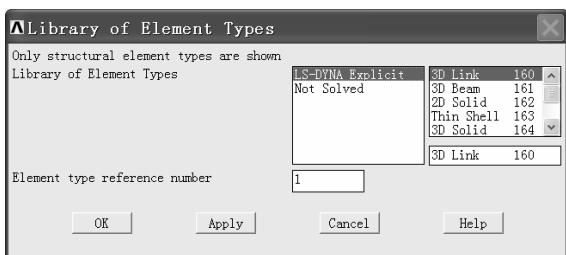


图 2-128 “Library of Element Types”窗口

(4) 在“Library of Element Types”窗口中的左边方框中用鼠标单击选中“LS-DYNA Explicit” (选中后的背景为蓝色), 在右边方框中用鼠标单击选中“3D Solid 164”。

(5) 单击“Library of Element Types”窗口中的“Apply”按钮。

(6) 单击“Library of Element Types”窗口中的“OK”按钮。这时“Element Types”窗

口中显示出已经选好的三种单元（见图 2-129）。这三种单元依次用于 A 圆筒、B 梁板和 C 梁板。

（7）最后单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

### 3. 定义材料

（1）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，出现“Define Material Model Behavior”窗口（见图 2-130）。

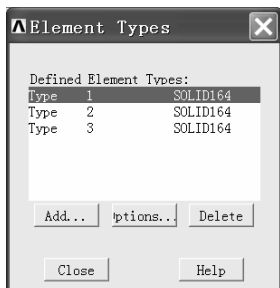


图 2-129 “Element Types”窗口（2）

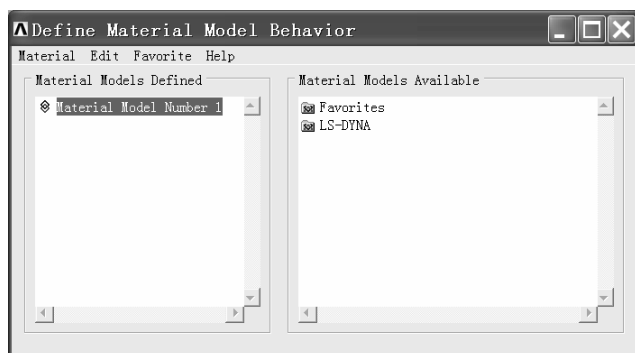


图 2-130 “Define Material Model Behavior”窗口

（2）单击“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中的“LS-DYNA”文件夹，继续单击“Nonlinear”文件夹，再单击“Inelastic”文件夹，再单击“Isotropic Hardening”文件夹，最后单击“Bilinear Isotropic”，出现“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口（见图 1-131）。

（3）在“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，“EX”方框处写入“2.1e11”，“NUXY”方框处写入“0.3”，“Yield Stress”方框处写入“2e8”，“Tangent Modulus”方框处写入“2e9”。以上输入表示材料密度为  $7850\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2.1 \times 10^{11}\text{Pa}$ （注意 2.1e11 表示  $2.1 \times 10^{11}$ ），泊松比为 0.3，屈服应力为  $2 \times 10^8\text{Pa}$ ，切线模量为  $2 \times 10^9\text{Pa}$ 。

（4）单击“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口中的“OK”按钮。

（5）单击“Define Material Model Behavior”窗口左上角下拉菜单中的“Material”，再单击“New Model...”，出现“Define Materi...”窗口（见图 2-132）。

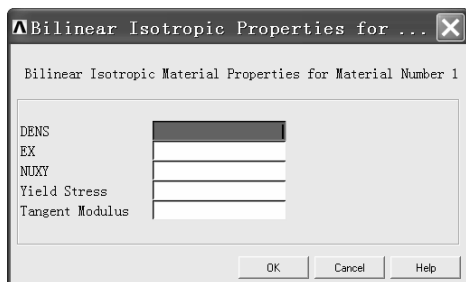


图 2-131 “Bilinear Isotropic Properties for...”窗口

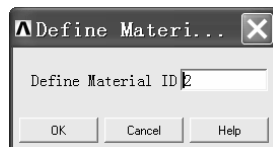


图 2-132 “Define Materi...”窗口

（6）再单击“Define Materi...”窗口中的“OK”按钮。

(7) 单击“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中的“Bilinear Isotropic”（打开“Bilinear Isotropic”的路径是：选择“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中“LS-DYNA”>“Nonlinear”>“Inelastic”>“Isotropic Hardening”），出现“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口（见图 2-133）。

(8) 在“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，“EX”方框处写入“2.1e11”，“NUXY”方框处写入“0.3”，“Yield Stress”方框处写入“2e8”，“Tangent Modulus”方框处写入“2e9”。

(9) 单击“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口中的“OK”按钮。

(10) 单击“Define Material Model Behavior”窗口左上角下拉菜单中的“Material”，再单击“New Model...”，出现“Define Materi...”窗口（见图 2-134）。



图 2-133 “Bilinear Isotropic Properties for...”窗口



图 2-134 “Define Materi...”窗口

(11) 单击“Define Materi...”窗口中的“OK”按钮。

(12) 单击“Define Material Model Behavior”窗口右边方框中的“Bilinear Isotropic”（打开“Bilinear Isotropic”的路径是：选择“Define Material Model Behavior”窗口右边方框中的“LS-DYNA”>“Nonlinear”>“Inelastic”>“Isotropic Hardening”），出现“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口（见图 2-135）。

(13) 在“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口中的“DENS”方框处写入“2700”，“EX”方框处写入“1e11”，“NUXY”方框处写入“0.3”，“Yield Stress”方框处写入“1e8”，“Tangent Modulus”方框处写入“1e9”。

(14) 单击“Bilinear Isotropic Properties for...”窗口中的“OK”按钮。此时“Define Material Model Behavior”窗口的左侧显示已经定义了三种材料，这三种材料依次用于 A 圆筒、B 梁板、C 梁板。

(15) 单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

#### 4. 建立几何模型

(1) 依次选择 Main Menu>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>Partial Cylinder，弹出“Partial C...”窗口（见图 2-136）。

(2) 在“Partial C...”窗口中输入数据：“WP X”后输入“0.2”，“WP Y”后输入“0.041”，“Rad-1”后输入“0.02”，“Theta-1”后输入“0”，“Rad-2”后输入“0.04”，“Theta-2”后输入“90”，“Depth”后输入“0.04”。

(3) 单击“Partial C...”窗口中的“Apply”按钮，弹出 A 圆筒 1/4 的正视图（如图 2-137）。

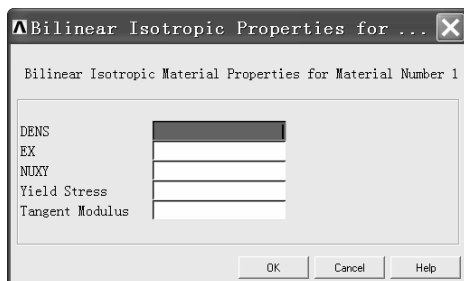


图 2-135 “Bilinear Isotropic Properties for...” 窗口

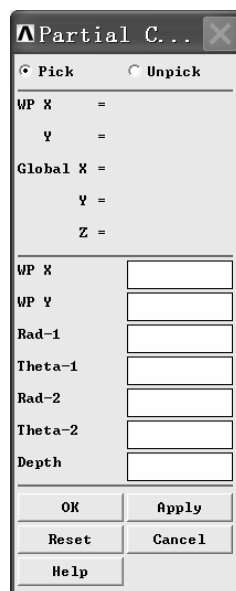


图 2-136 “Partial C...” 窗口

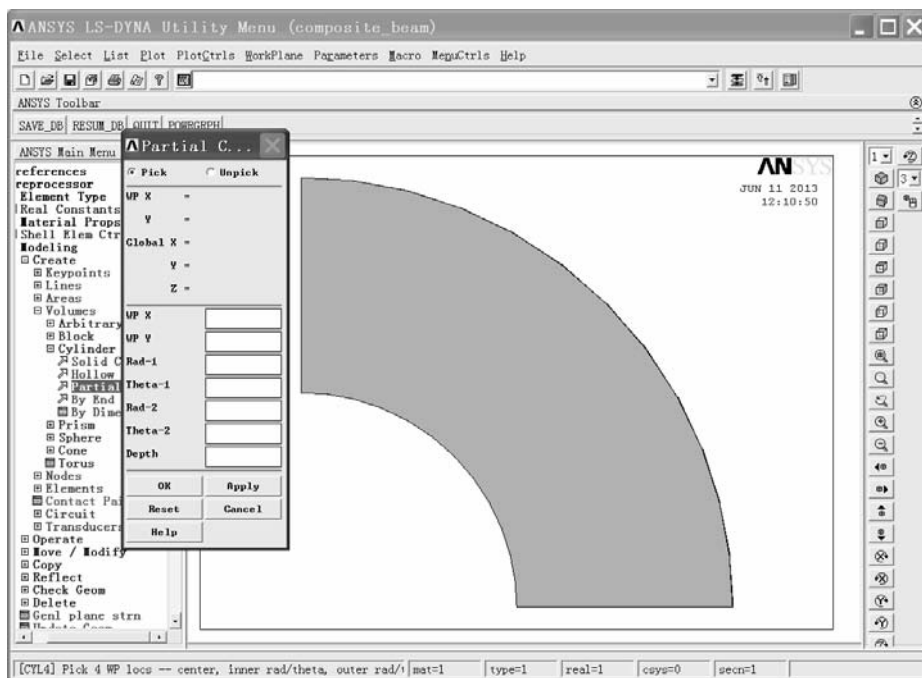


图 2-137 A 圆筒的 1/4

(4) 继续在“Partial C...”窗口中输入数据：“WP X”后输入“0.2”，“WP Y”后输入“0.041”，“Rad-1”后输入“0.02”，“Theta-1”后输入“90”，“Rad-2”后输入“0.04”，“Theta-2”后输入“180”，“Depth”后输入“0.04”。

(5) 单击“Partial C...”窗口中的“Apply”按钮，弹出 A 圆筒 2/4 的正视图（见图 2-138）。

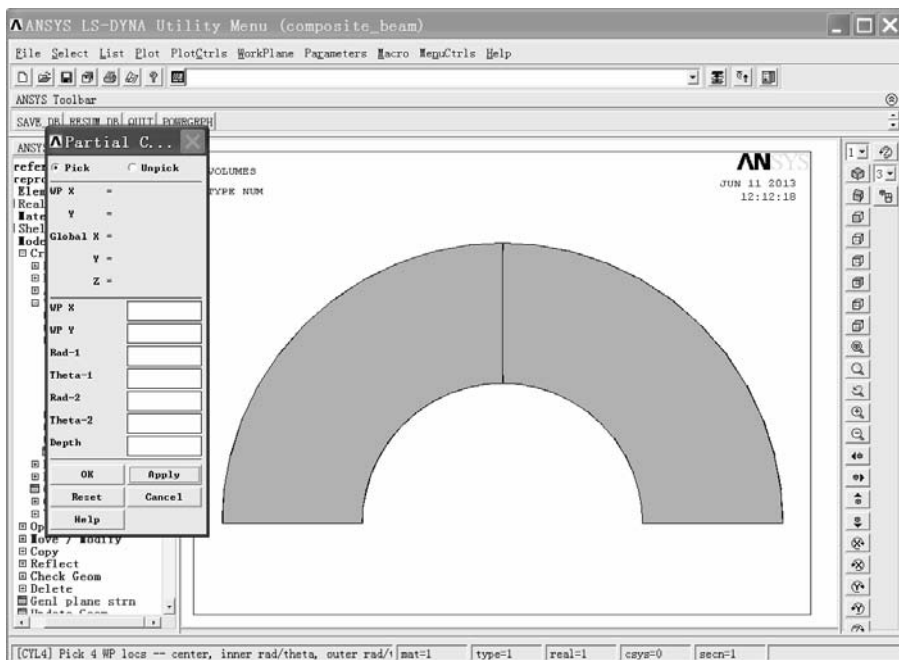


图 2-138 A 圆筒的 2/4

(6) 继续在“Partial C...”窗口中输入数据：“WP X”后输入“0.2”，“WP Y”后输入“0.041”，“Rad-1”后输入“0.02”，“Theta-1”后输入“180”，“Rad-2”后输入“0.04”，“Theta-2”后输入“270”，“Depth”后输入“0.04”。

(7) 单击“Partial C...”窗口中的“Apply”按钮，弹出 A 圆筒 3/4 的正视图（见图 2-139）。

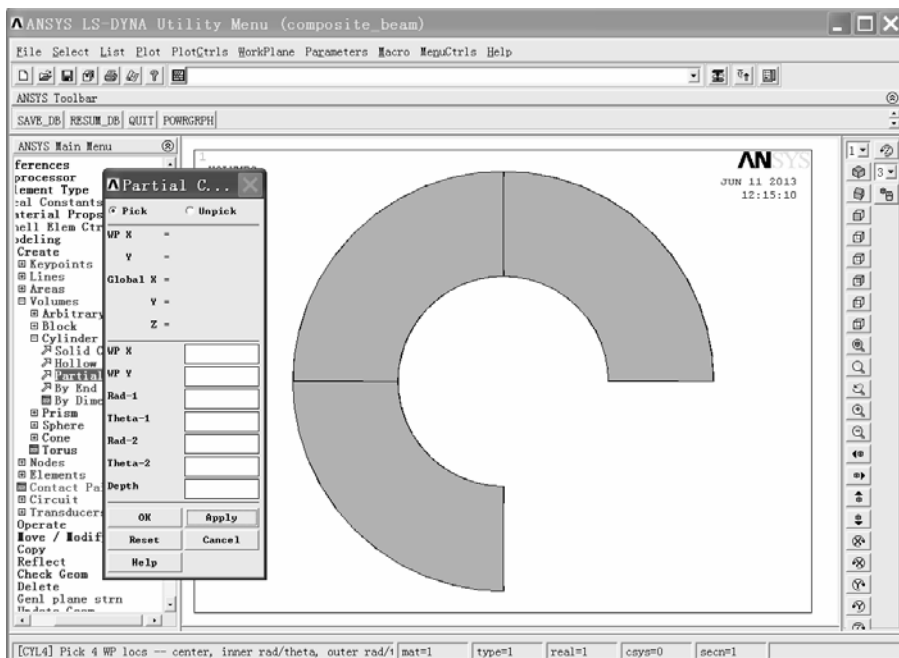


图 2-139 A 圆筒的 3/4

(8) 继续在“Partial C...”窗口输入数据：“WP X”后输入“0.2”，“WP Y”后输入“0.041”，“Rad-1”后输入“0.02”，“Theta-1”后输入“270”，“Rad-2”后输入“0.04”，“Theta-2”后输入“360”，“Depth”后输入“0.04”。

(9) 单击“Partial C...”窗口中的“OK”按钮，弹出 A 圆筒的正视图（见图 2-140）。

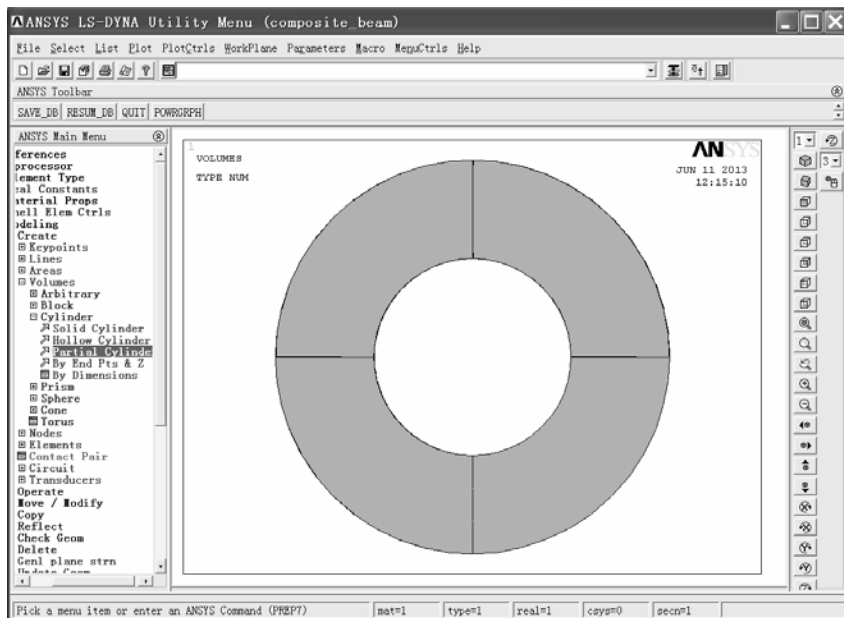


图 2-140 A 圆筒的正视图

(10) 单击操作界面右侧视图工具条中的“Isometric View”（见图 2-141），改变视图的观察角度。改变观察角度后的视图如图 2-142 所示。如果将鼠标指向模型（即 A 杆），用 Ctrl+鼠标左键可以平移视图，滚动鼠标的中键可以缩放视图，用 Ctrl+鼠标右键可以旋转视图。

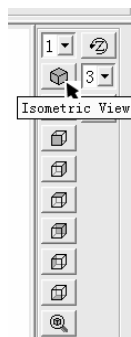


图 2-141 视图工具条

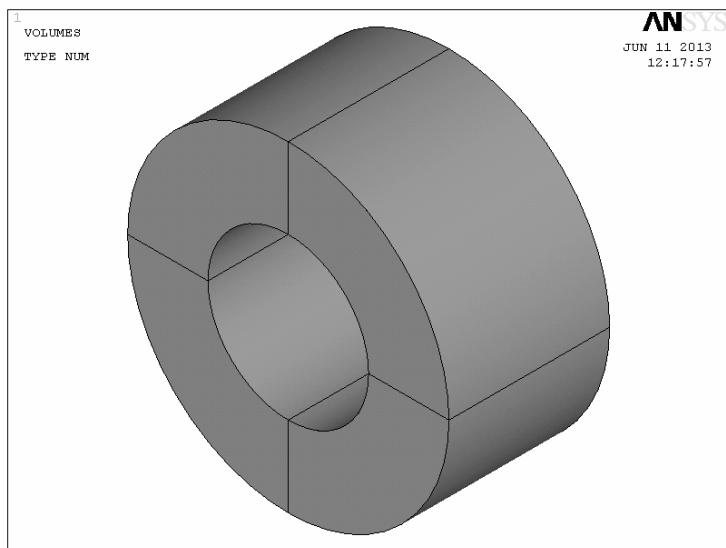


图 2-142 改变观察角度后的圆筒

(11) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volume, 弹出“Glue Volumes”窗口(见图 2-143)。

(12) 单击“Glue Volumes”窗口中的“Pick All”按钮, A 圆筒的四个分块合成一个整体。之所以将 A 圆筒分成四个分块然后又合在一起是为了以后可以划分出高质量的单元。

(13) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 出现“Create Block by Dimensions”窗口(见图 2-144)。

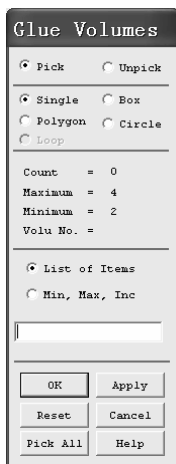


图 2-143 “Glue Volumes”窗口

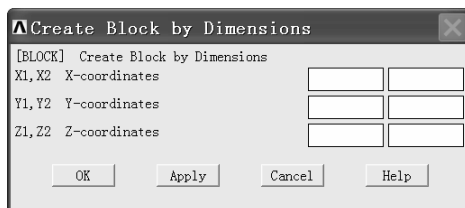


图 2-144 “Create Block by Dimensions”窗口

(14) 在“Create Block by Dimensions”窗口中“X1, X2 X-coordinates”后的方框内依次输入“0”、“0.2”, 在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的方框内依次输入“0”、“-0.02”, 在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的方框内依次输入“0”、“0.04”。

(15) 单击“Create Block by Dimensions”窗口中的“OK”按钮, B 梁板的模型已建立, 并出现在图形窗口(见图 2-145)。

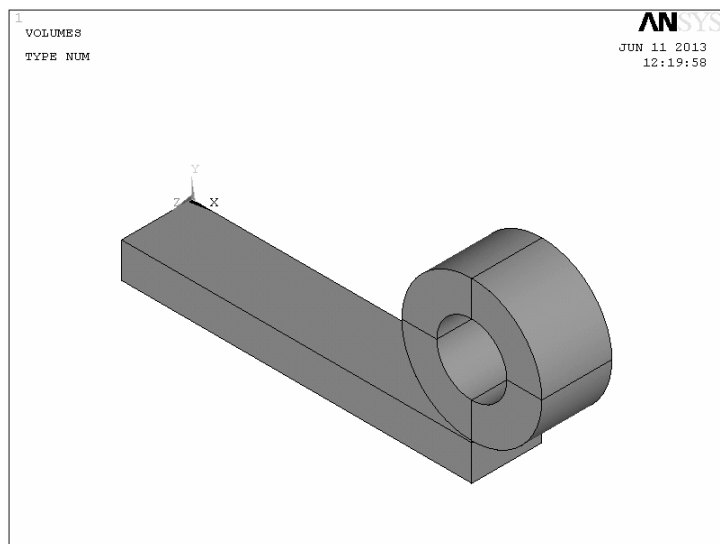


图 2-145 B 梁板和 A 圆筒模型

(16) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes, 弹出“Copy Volumes”窗口(见图 2-146)。鼠标光标变为黑色向上的箭头。

(17) 将鼠标光标指向 B 梁板的中心位置, 然后单击鼠标左键, B 梁板改变颜色, 表示被选中。另外, 如果不小心选中 A 圆筒的一部分, 可以用如下的方法取消选择: 单击鼠标右键, 光标变成向下的箭头, 指向 A 圆筒上被错选的部分, 再单击鼠标左键, 错选部分被取消恢复到最初颜色。这时再单击一下鼠标右键, 光标变为向上的黑色箭头, 这时又可以重新选择了。

(18) B 梁板被选中后单击“Copy Volumes”窗口中的“OK”按钮, 弹出另一种形式的“Copy Volumes”窗口(见图 2-147)。

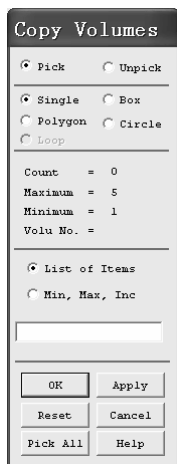


图 2-146 “Copy Volumes”窗口

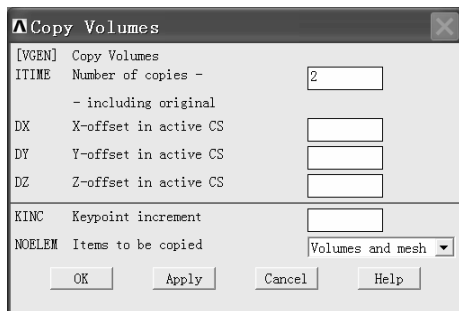


图 2-147 另一种形式的“Copy Volumes”窗口

(19) 在另一种形式的“Copy Volumes”窗口中“DY Y-offset in active CS”后的方框中输入“-0.02”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮, C 梁板出现(见图 2-148)。

(20) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volume, 弹出“Glue Volumes”窗口(见图 2-149)。光标变为黑色向上的箭头。

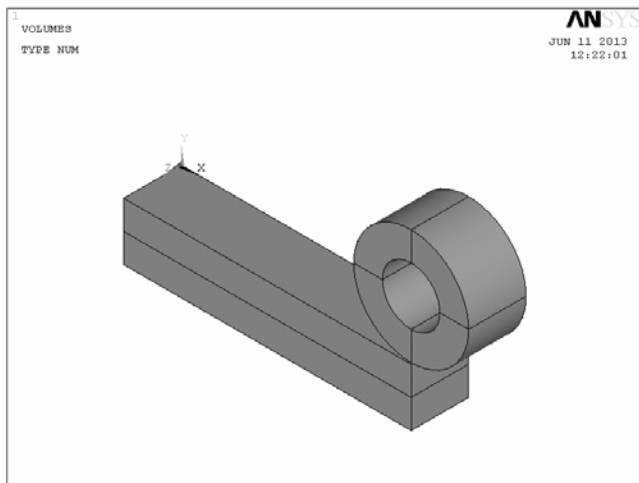


图 2-148 A、B、C 模型

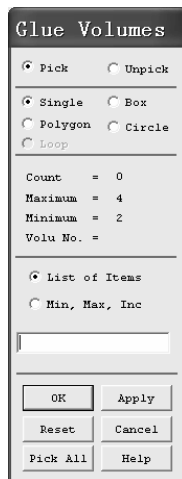


图 2-149 “Glue Volumes”窗口



(21) 将光标指向 B 梁板的中心, 单击左键, 再将光标指向 C 梁板的中心, 单击左键。B、C 梁板改变颜色, 表示被选中。

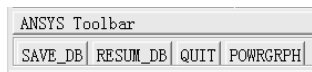


图 2-150 工具条

(22) 单击 “Glue Volumes” 窗口中的 “OK” 按钮, B、C 梁板被结合在一起。

(23) 单击操作界面左上角工具条中的 “SAVE\_DB” 按钮 (见图 2-150), 保存文件。

## 5. 划分单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出 “MeshTool” 窗口 (见图 2-151)。

(2) 在 “MeshTool” 窗口中的 “Element Attributes:” 下的方框中选择 “Global” (通过单击该方框后的倒立三角形来选择), 再单击该方框后的 “Set” 按钮, 弹出 “Meshing Attributes” 窗口 (见图 2-152)。

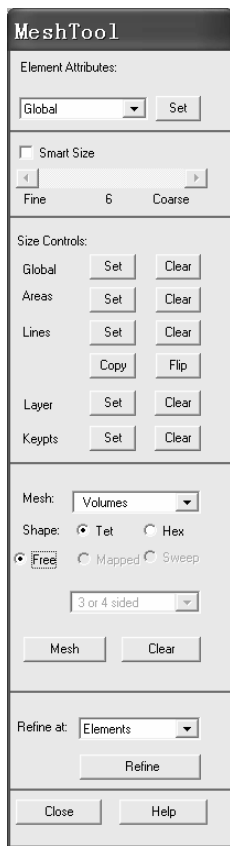


图 2-151 “MeshTool” 窗口 (1)

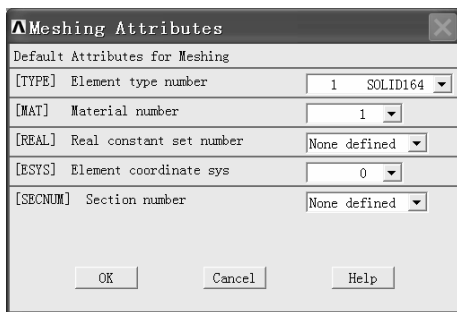


图 2-152 “Meshing Attributes” 窗口

(3) 在 “Meshing Attributes” 窗口下进行选择: 在 “[TYPE] Element type number” 后的方框中选择 “1 SOLID164”, 在 “[Mat] Material number” 后的方框中选择 “1”, 然后单击 “Meshing Attributes” 窗口中的 “OK” 按钮。

(4) 单击 “MeshTool” 窗口中 “Lines” 后的 “Set” 按钮, 弹出 “Element Si...” 窗口 (见图 2-153)。

(5) 单击“Element Si...”窗口中的“Pick All”按钮，弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口（见图 2-154）。

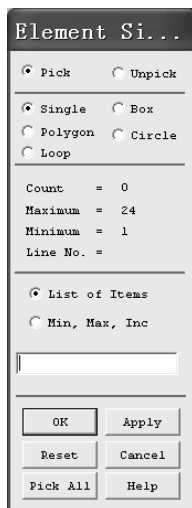


图 2-153 “Element Si...”窗口

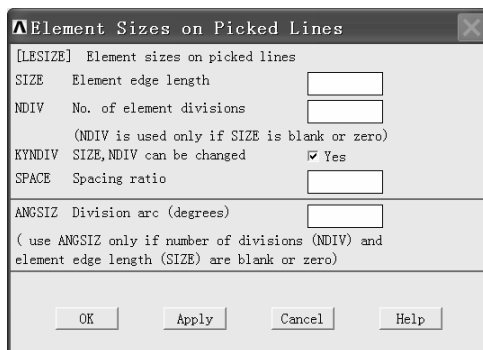


图 2-154 “Element Sizes on Picked Lines”窗口

(6) 在“Element Sizes on Picked Lines”窗口中“SIZE Element edge length”后的方框中输入“0.005”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口（见图 2-155）。

(8) 在“MeshTool”窗口中，从“Mesh:”后的方框中选择“Volumes”，从“Shape:”后的单选框中选中“Hex”。

(9) 再在“MeshTool”窗口中单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 2-156），鼠标光标变为向上的黑色箭头。

(10) 将鼠标依次指向 A 圆筒各分块的中心，单击鼠标左键，选中 A 圆筒四个分块，A 圆筒改变颜色，然后单击“Mesh Volumes”窗口中的“OK”按钮，A 圆筒划分好单元（见图 2-157）。

(11) 依次选择 Utility Menu>Plot>Volumes，重新显示 A、B、C 的模型（见图 2-158）。

(12) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口（见图 2-159）。

(13) 在“MeshTool”窗口中的“Element Attributes:”处选择“Global”，再单击该方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口（见图 2-160）。

(14) 在“Meshing Attributes”窗口下进行选择：在“[TYPE] Element type number”后的方框中选择“2 SOLID164”（单击该方框后的倒立三角形来选择）。在“[MAT] Material number”后的方框中选择“2”，然后单击“Meshing Attributes”窗口中的“OK”按钮。

(15) 在“MeshTool”窗口中，从“Mesh:”后的方框中选择“Volumes”。从“Shape:”后的单选框中选中“Hex”。

(16) 在“MeshTool”窗口中，单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 2-161），鼠标光标变为向上的黑色箭头。

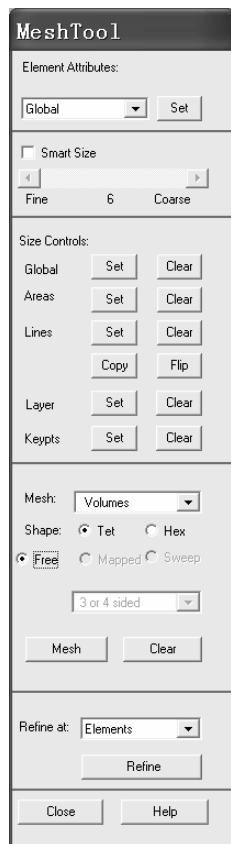


图 2-155 “MeshTool” 窗口 (2)

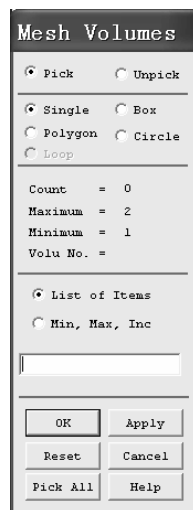


图 2-156 “Mesh Volumes” 窗口

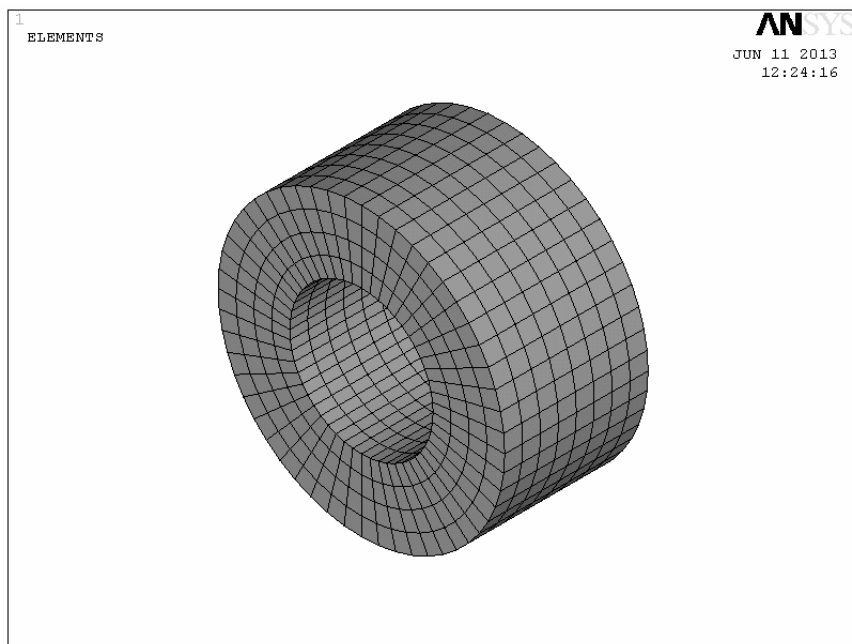


图 2-157 A 圆筒已划分好单元

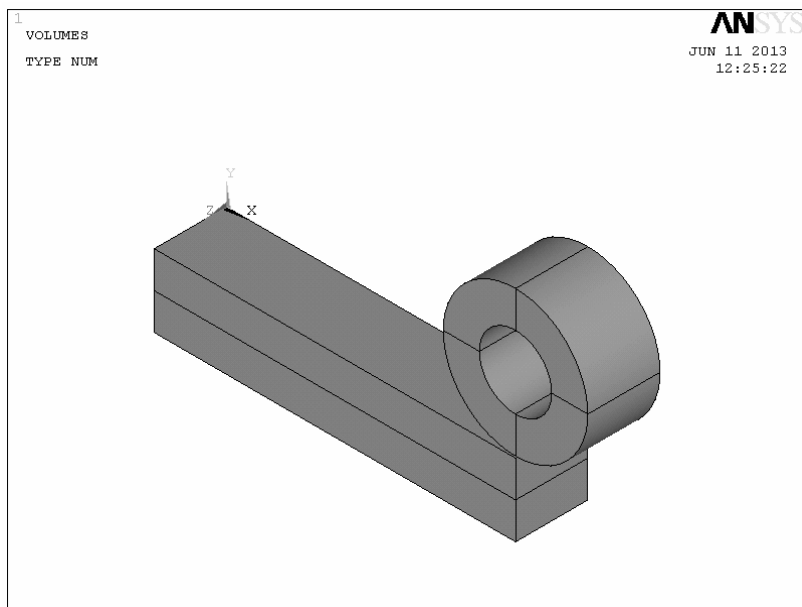


图 2-158 A、B、C 模型

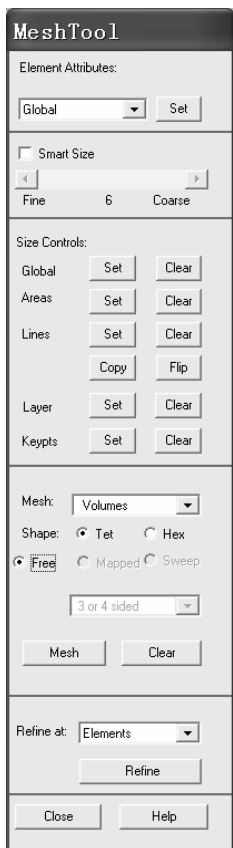


图 2-159 “MeshTool” 窗口

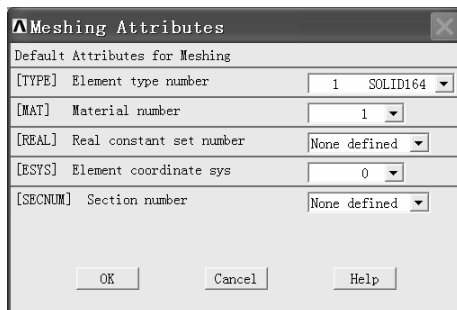


图 2-160 “Meshing Attributes” 窗口

(17) 将鼠标指在 B 梁板的中部, 单击鼠标左键, B 梁板改变颜色, 然后单击 “Mesh Volumes” 窗口中的 “OK” 按钮。B 杆划分好单元 (见图 2-162)。

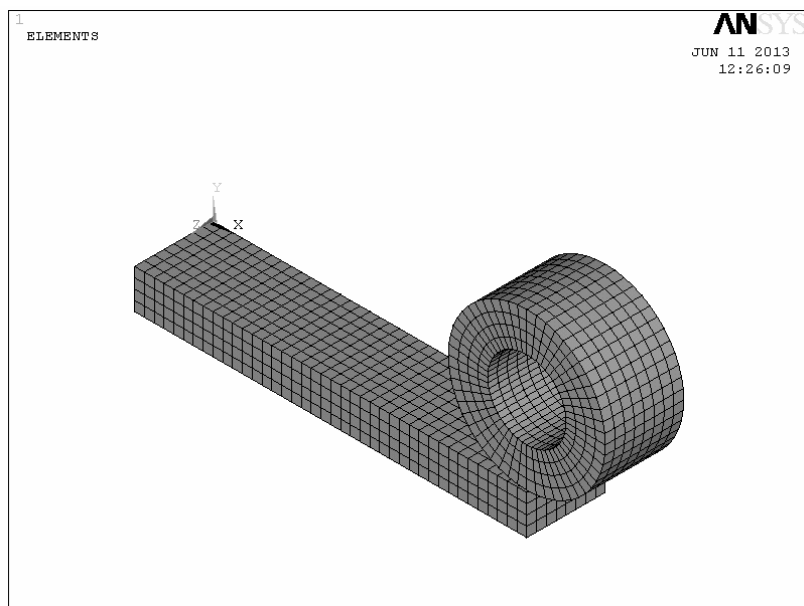
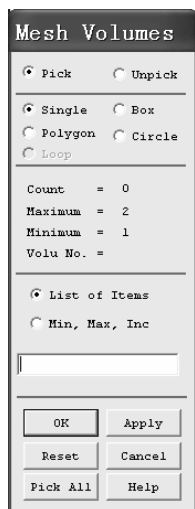


图 2-161 “Mesh Volumes” 窗口

图 2-162 A、B 两杆都划分好了单元

(18) 依次选择 Utility Menu>Plot>Volumes, 重新显示 A、B、C 的模型 (见图 2-163)。

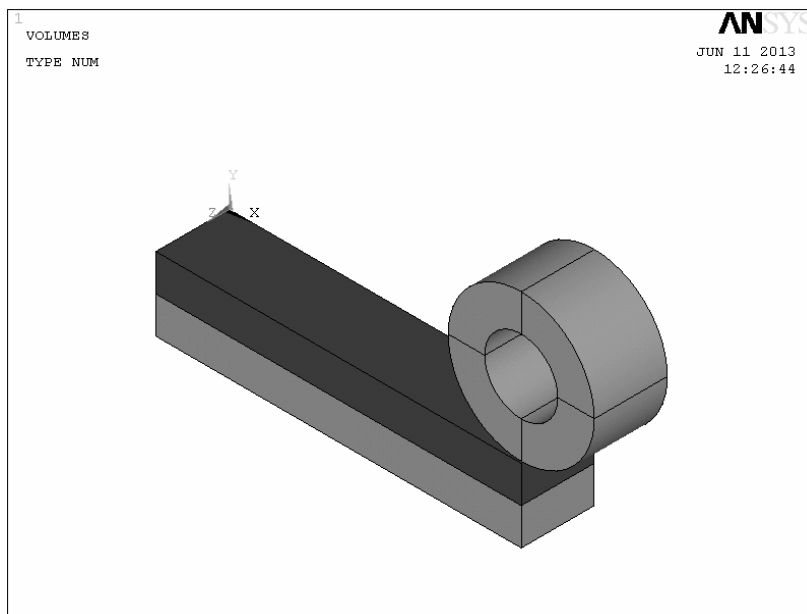


图 2-163 A、B、C 模型

(19) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出 “MeshTool” 窗口 (见图 2-164)。

(20) 在“MeshTool”窗口中的“Element Attributes:”处选择“Global”，再单击该方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口（见图 2-165）。

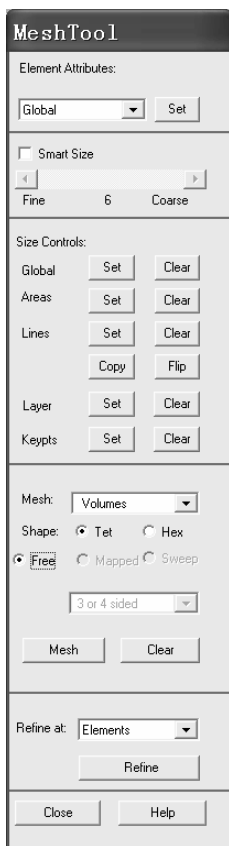


图 2-164 “MeshTool”窗口

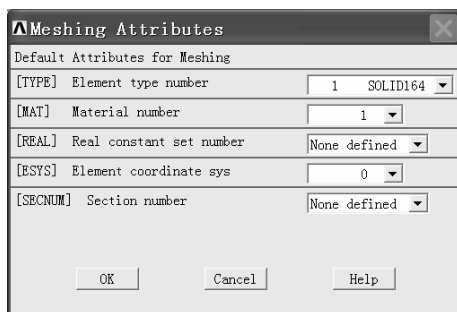


图 2-165 “Meshing Attributes”窗口

(21) 在“Meshing Attributes”窗口下进行选择：在“[TYPE] Element type number”后的方框中选择“3 SOLID164”，在“[MAT] Material number”后的方框中选择“3”，然后单击“Meshing Attributes”窗口中的“OK”按钮。

(22) 在“MeshTool”窗口中，从“Mesh:”后的方框中选择“Volumes”，从“Shape:”后的单选框中选中“Hex”。

(23) 在“MeshTool”窗口中，单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 2-166），鼠标光标变为向上的黑色箭头。

(24) 将鼠标指在 C 梁板的中部，单击鼠标左键，C 梁板改变颜色，然后单击“Mesh Volumes”窗口中的“OK”按钮，C 杆划分好单元（见图 2-167）。

(25) 单击操作界面左上角处的“SAVE\_DB”按钮（见图 2-168），保存文件。

## 6. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options，弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口（见图 2-169）。

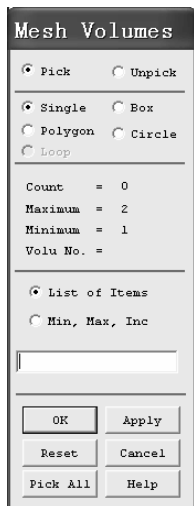


图 2-166 “Mesh Volumes” 窗口

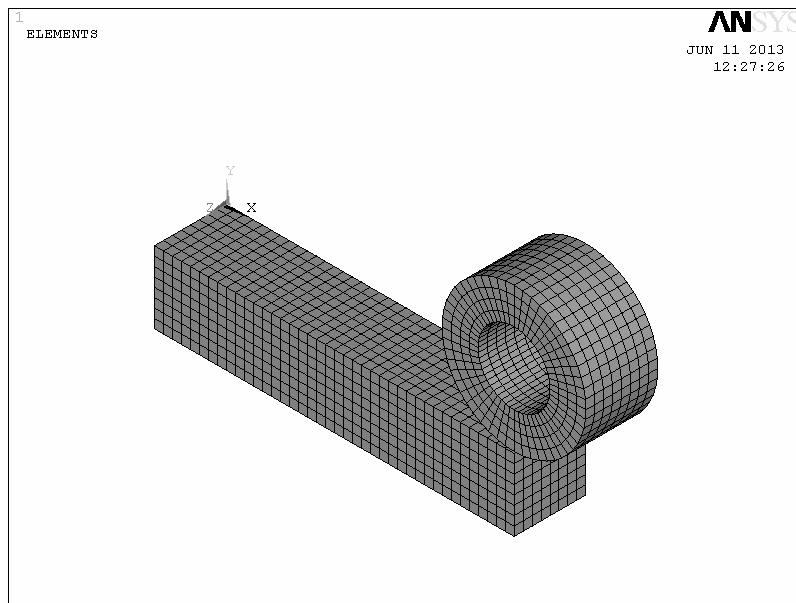


图 2-167 A、B、C 都划分好了单元

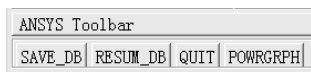


图 2-168 工具条

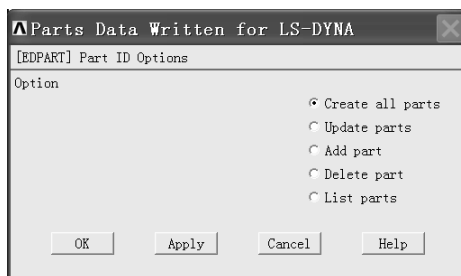


图 2-169 “Parts Data Written for LS-DYNA” 窗口

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变，单击该窗口中的“OK”按钮，弹出“EDPART Command”窗口（见图 2-170）。

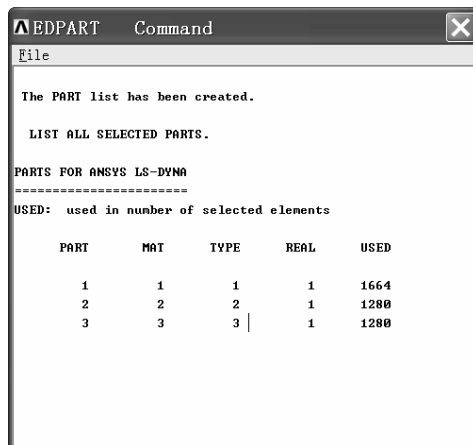


图 2-170 “EDPART Command” 窗口

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 7. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口(见图 2-171)。

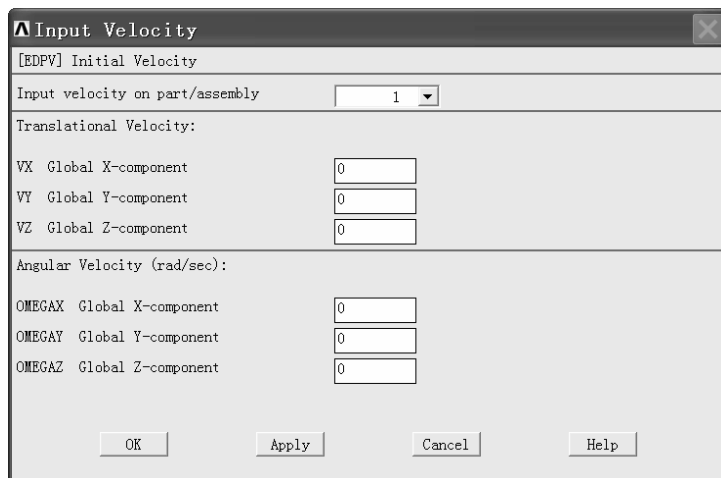


图 2-171 “Input Velocity”窗口

(2) 在“Input Velocity”窗口中的“Input velocity on part/assembly”后的方框中选择“1”，在“VY Global Y-component”后的方框中输入“-20”，然后单击“OK”按钮。

## 8. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact, 弹出“Contact Parameter Definitions”窗口(见图 2-172)。

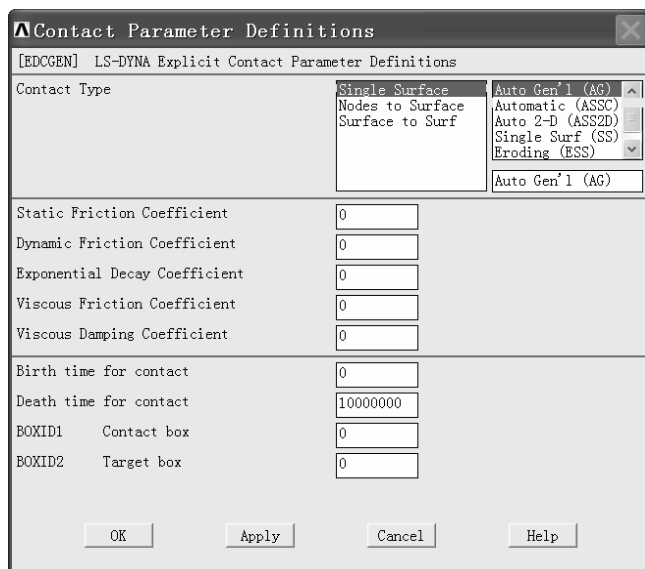


图 2-172 “Contact Parameter Definitions”窗口



(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Contact Type”后的第一个方框中选择“Single Surface”(单击选中后背景为蓝色),在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic (ASSC)”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Static Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Dynamic Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”,然后单击该窗口中的“OK”按钮。

## 9. 设置边界条件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Constraints>Apply>On Areas,弹出“Apply U, RO...”窗口(见图 2-173),光标变为黑色向上的箭头。

(2) 将光标依次指向 B、C 梁左端面的中部,单击鼠标左键选中这两个端面,端面变色。

(3) 单击“Apply U, RO...”窗口中的“OK”按钮,弹出“Apply U, ROT on Areas”窗口(见图 2-174)。

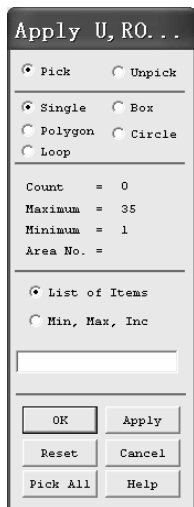


图 2-173 “Apply U, RO...”窗口

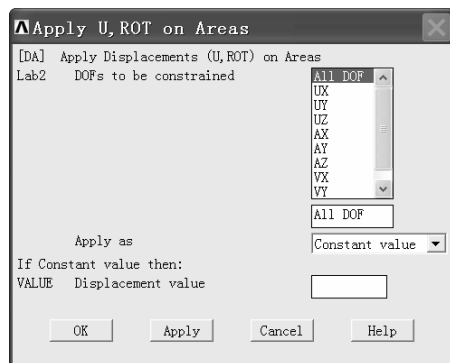


图 2-174 “Apply U, ROT on Areas”窗口

(4) 拖动“Apply U, ROT on Areas”窗口右上方方框后的滚动条,单击选中“All DOF”,然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 图形窗口中显示 B、C 梁板的两个左端面被约束(见图 2-175)。

(6) 单击操作界面左上角处的“SAVE\_DB”按钮(见图 2-176),保存文件。

## 10. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time,弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口(见图 2-177)。

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中的“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.005”,然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types,弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口(见图 2-178)。

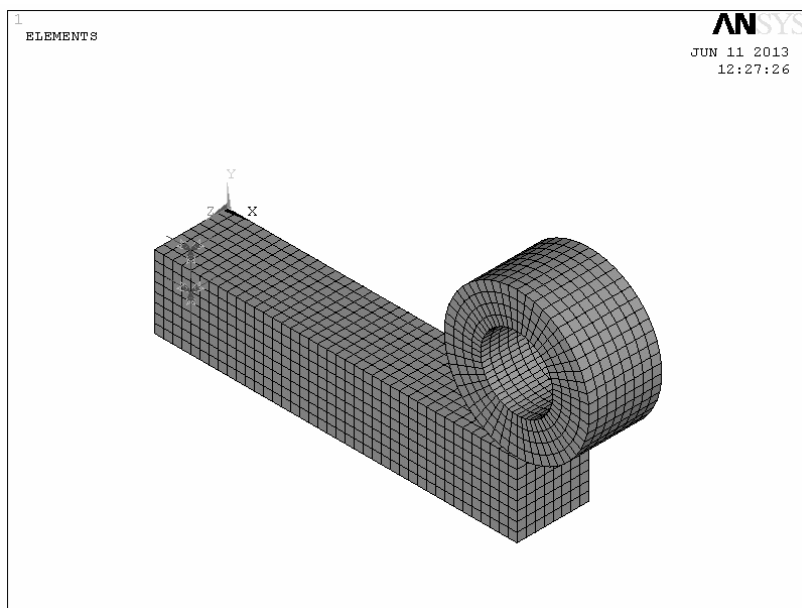


图 2-175 B、C 梁板的两个左端面被约束

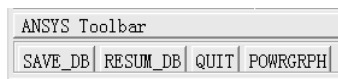


图 2-176 工具条

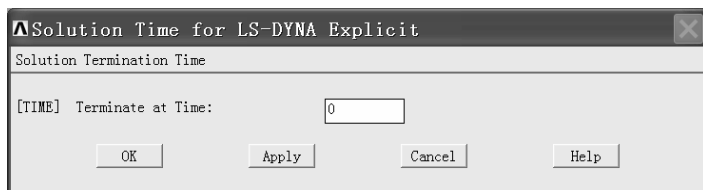


图 2-177 “Solution Time for LS-DYNA Explicit” 窗口

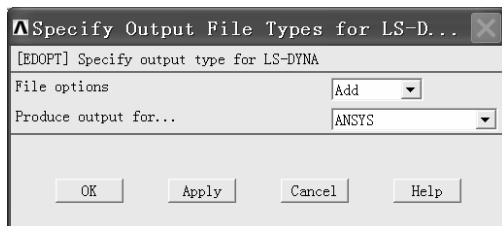


图 2-178 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”（单击该方框后的倒立三角形来选择）。在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”（单击该方框后的倒立三角形来选择）。然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps，弹出“Specify File Output Frequency”窗口（见图 2-179）。

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中的“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后的方框中输入“40”，在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“40”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

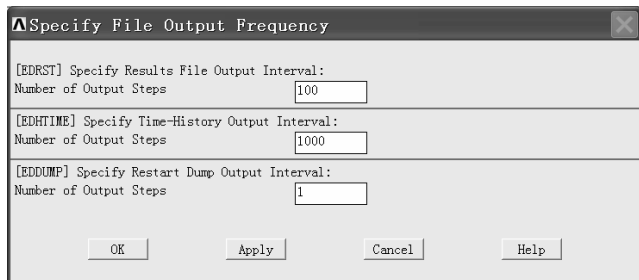


图 2-179 “Specify File Output Frequency” 窗口

## 11. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 2-180)。

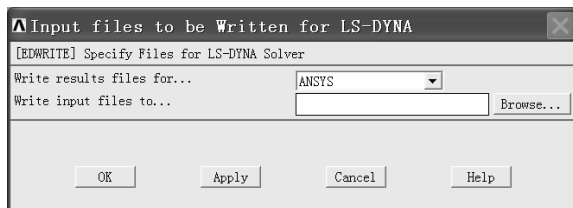


图 2-180 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (1)

(2) 在 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中 “Write results files for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA” (单击该方框后的倒立三角形来选择), 再单击 “Write input files to...” 后的 “Browse...” 按钮, 弹出 “Write input files to...” 窗口 (见图 2-181)。

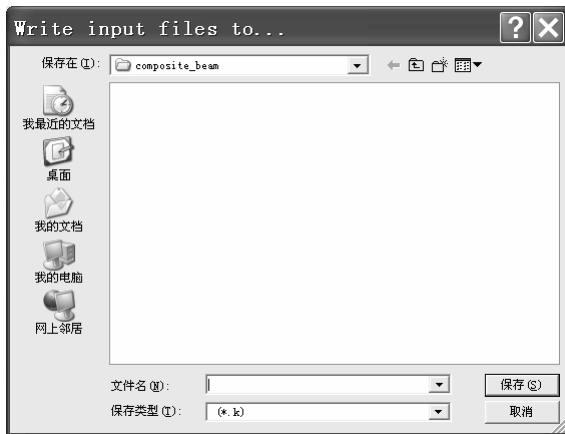


图 2-181 “Write input files to...” 窗口

(3) 在 “Write input files to...” 窗口中 “文件名 (N):” 后的方框中输入 “composite\_beam.k”, 单击 “保存” 按钮, 然后再回到 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 2-182)。

(4) 单击 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中的 “OK” 按钮, 弹出 “EDWRITE Command” 窗口 (见图 2-183)。

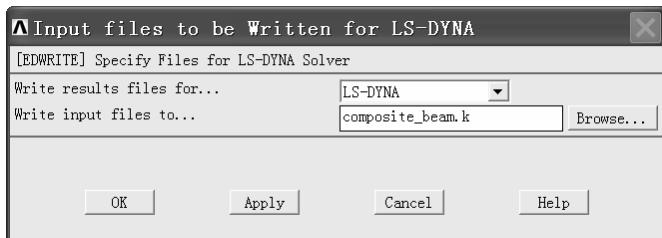


图 2-182 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (2)

(5) 单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出“Exit from ANSYS”窗口（见图 2-184）。

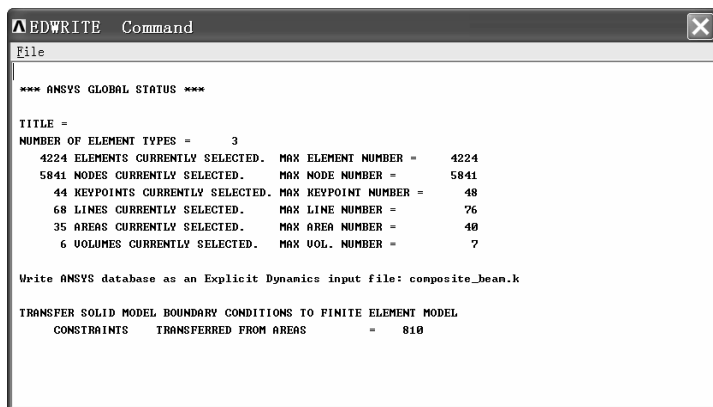


图 2-183 “EDWRITE Command” 窗口

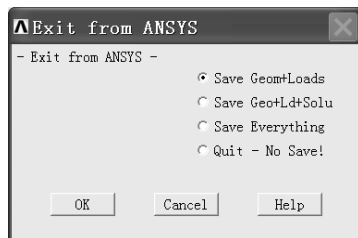


图 2-184 “Exit from ANSYS” 窗口

(7) 选中“Exit from ANSYS”窗口中“Save Everything”前面的单选框，再单击该窗口中的“OK”按钮。

## 12. 求解

(1) 打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口（见图 2-185）。其实该窗口前面已经打开，只需单击桌面下方任务栏中该窗口的最小化图标使该窗口显示出来。如果前面已将该窗口关闭，可以用“开始”菜单中的“ANSYS 14.0”文件夹下的“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标打开（单击此图标）。

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Working Directory:”方框中输入“d:\composite\_beam”。

(5) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Keyword Input File”方框后的“Browse...”按钮，弹出“Select Keyword Input File”窗口（见图 2-186）。

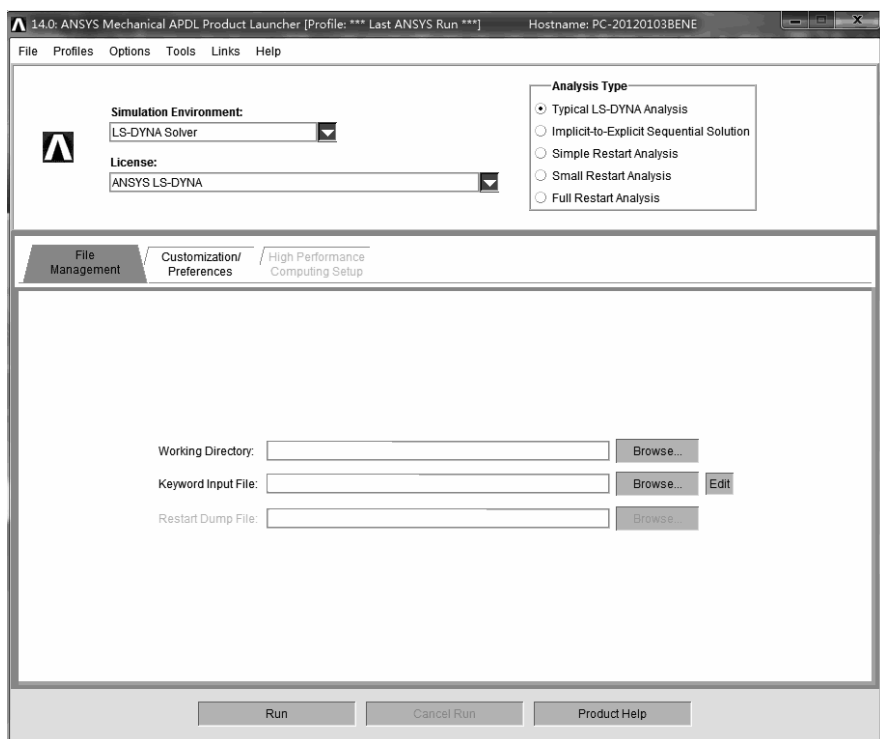


图 2-185 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口

(6) 在“Select Keyword Input File”窗口中找到“d:\composite\_beam 目录下的 composite\_beam.k 文件，用鼠标单击该文件后单击“打开”按钮。

(7) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Run”按钮，弹出显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口（见图 2-187）。

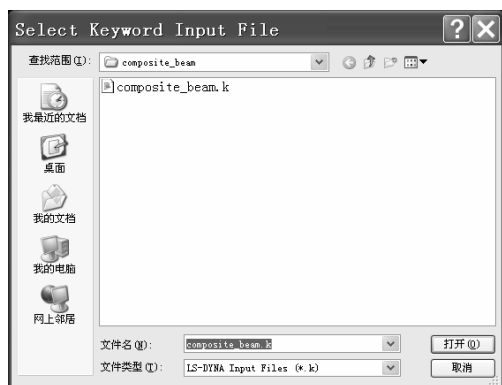


图 2-186 “Select Keyword Input File”窗口

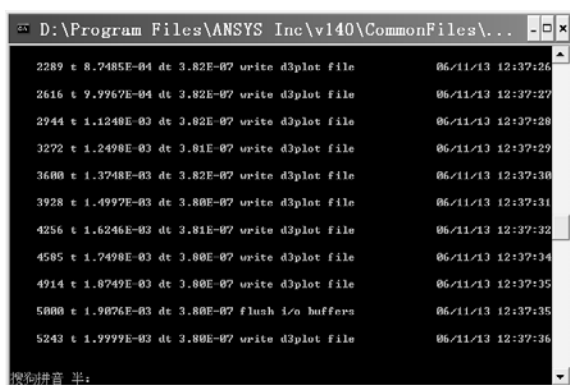


图 2-187 显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口

(8) 计算完成时显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口出现图 2-188 上面的内容，单击键盘上的任意键可关闭该窗口。

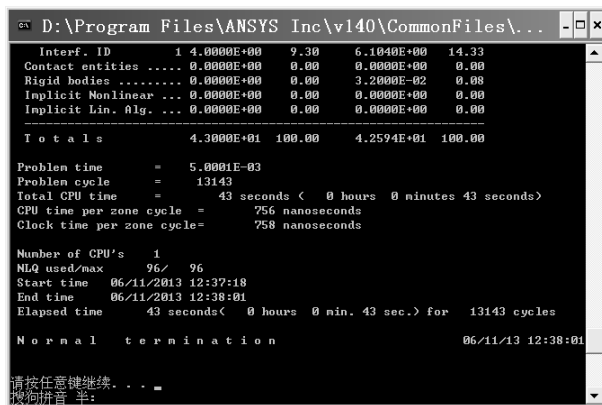


图 2-188 计算结束

### 13. 后处理

(1) 双击 LS-PREPOST 图标 (见图 2-189), 打开 LS-PREPOST 后处理器 (见图 2-190)。



图 2-189 LS-PREPOST 后处理器图标

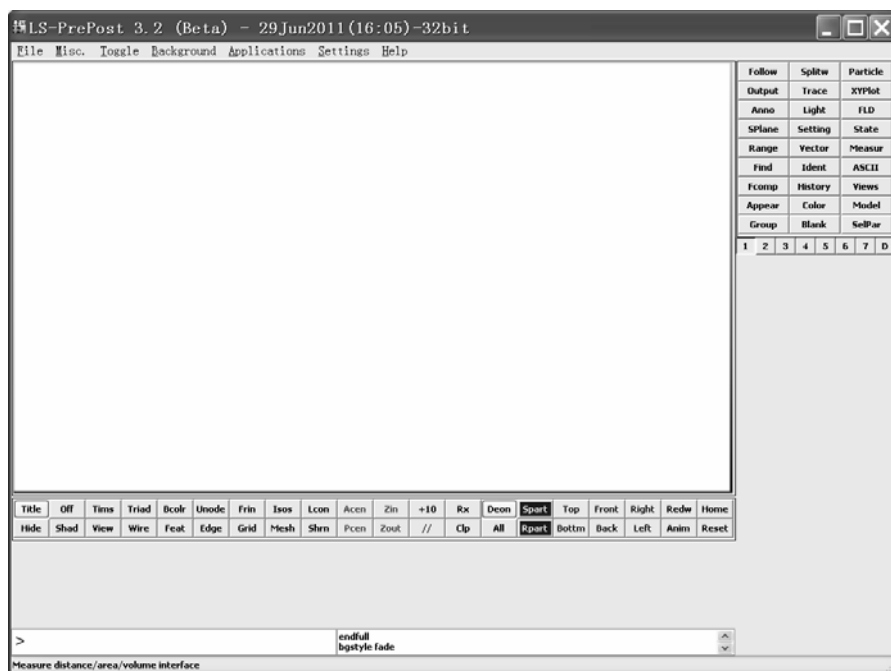


图 2-190 LS-PREPOST 操作界面 (1)

(2) 单击 LS-PREPOST 操作界面中上部的“Background”下拉菜单, 再单击“Plain”, 将背景变为白色 (见图 2-191)。

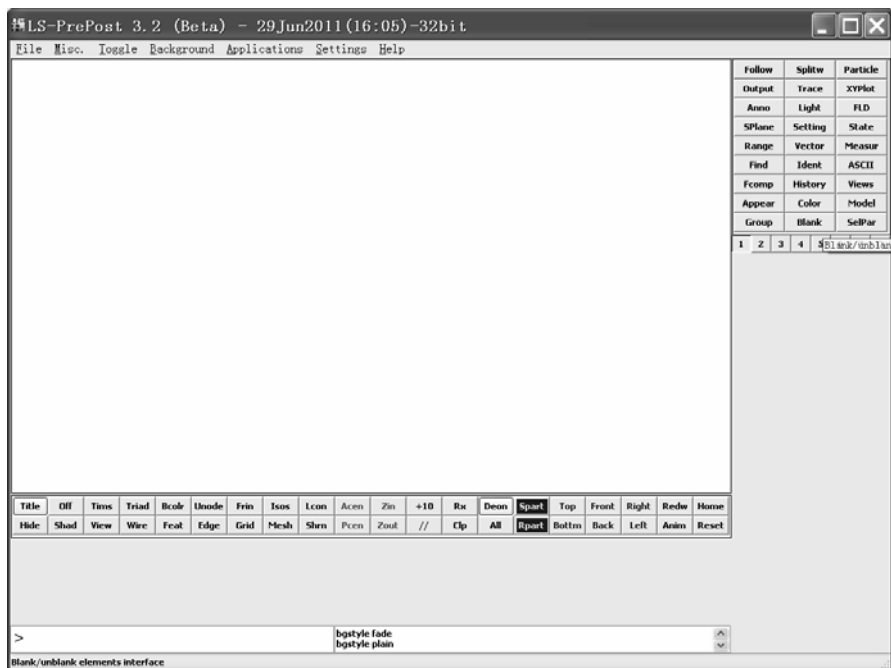


图 2-191 LS-PREPOST 操作界面 (2)

(3) 单击操作界面左上角的 File 下拉菜单，依次打开“Open”→“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”（见图 2-192），弹出“Open File”窗口（见图 2-193）。

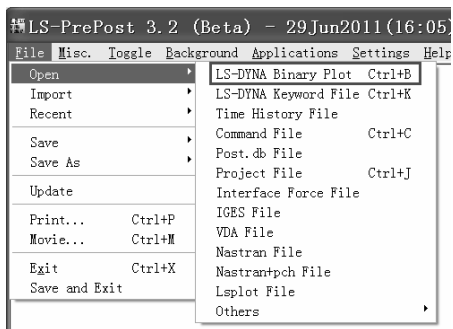


图 2-192 打开计算结果文件

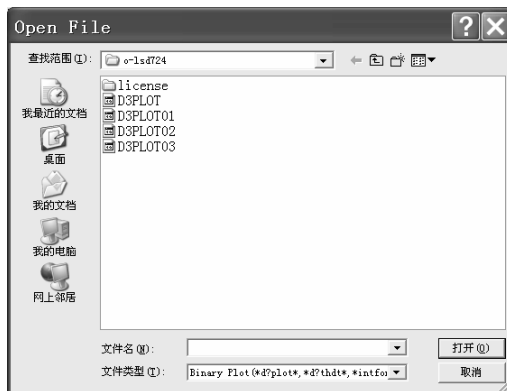


图 2-193 “Open File”窗口

(4) 从“Open File”窗口中打开“d:\composite\_beam”目录下的“D3PLOT”文件，弹出图 2-194 所示的图形。图中显示了 A 圆筒、B 梁板和 C 梁板的正面视图。

(5) 将鼠标指在 A、B 杆上，用 Ctrl+鼠标左键可以转动视图，用 Ctrl+鼠标中键可以缩放视图，用 Ctrl+鼠标右键可以平移视图。

(6) 单击图形窗口下的向右的黑色三角形可以播放撞击过程的动画。单击圆形黑点可以暂停动画（见图 2-195）。沿竖直方向拖动动画播放条最右边的按钮可以控制动画播放的快慢。

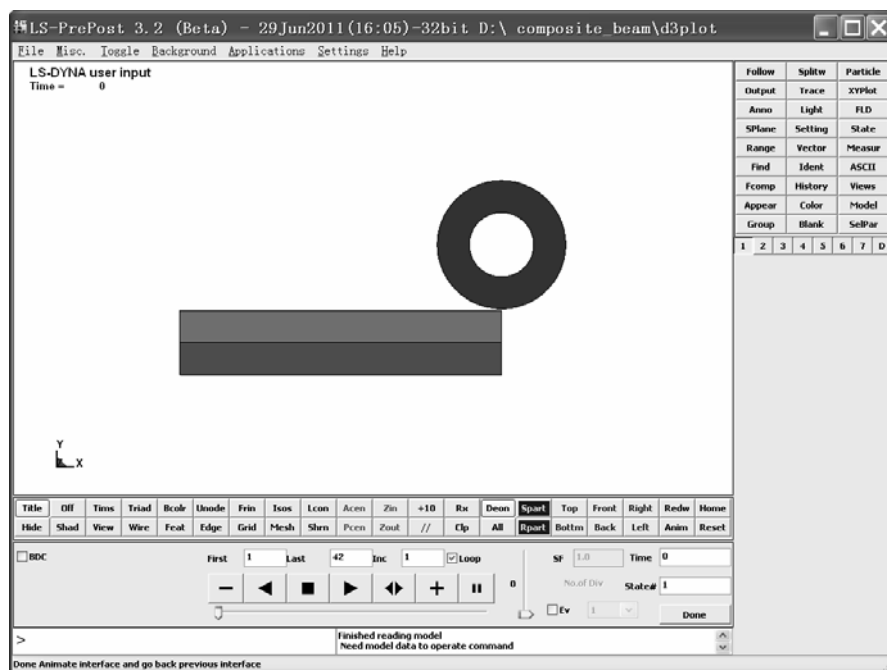


图 2-194 操作界面



图 2-195 动画播放条

(7) 单击操作界面右上方的“Fcomp”按钮，出现“Fringe Component”窗口（见图 2-196）。单击“Fringe Component”窗口左侧的“Stress”按钮，再单击“Fringe Component”窗口右侧的“von misses stress”，可以观看撞击过程中 A、B 两杆中应力的变化（当然，这里需要打开播放动画，见图 2-197）。

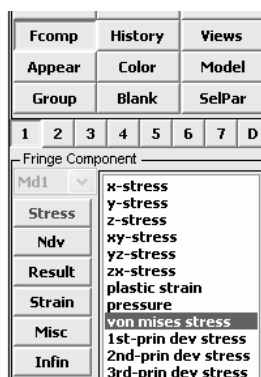


图 2-196 “Fcomp”按钮与“Fringe Component”窗口

(8) 单击动画播放条上的黑色圆点暂停动画。



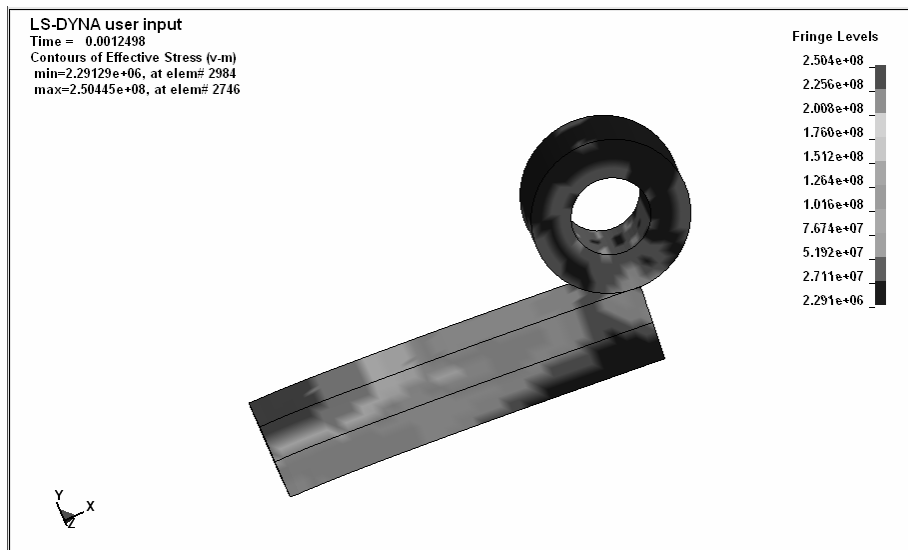


图 2-197 操作界面

(9) 单击操作界面右上方的“History”按钮（图 2-198 中用椭圆圈出），再单击“Element”前面的单选框（图 2-198 中用椭圆圈出），再单击 B 梁板右端附近的一个单元。单元被选中后该单元的编号出现（见图 2-199）。如果对所选的单元不满意，可以单击图 2-198 中底部的“Clear”按钮取消选择后重新选单元。

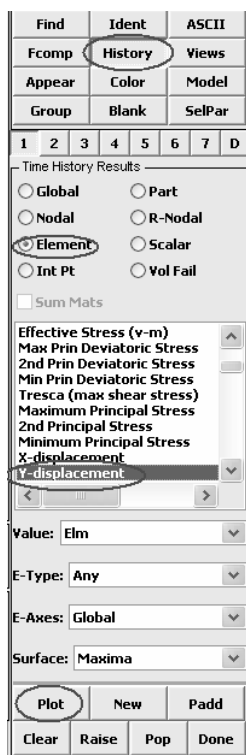


图 2-198 “History”选项

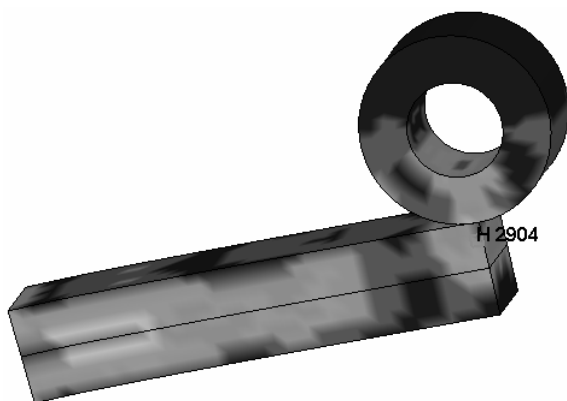


图 2-199 一个单元被选中

(10) 拖动图 2-198 中的滚动条, 单击选中 “Y-displacement” (图 2-198 中用椭圆圈出), 选中后背景为蓝色, 再单击 Plot (图 2-198 中用椭圆圈出), 弹出 “PlotWindow-1” 窗口 (见图 2-200)。

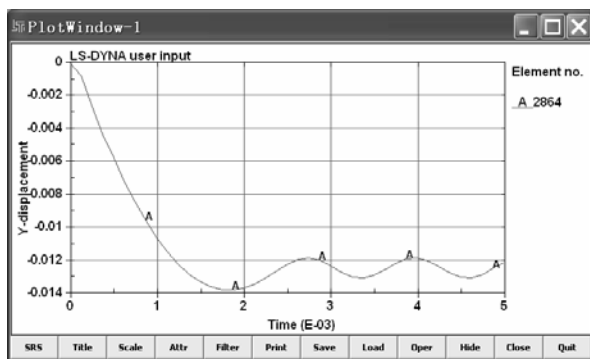
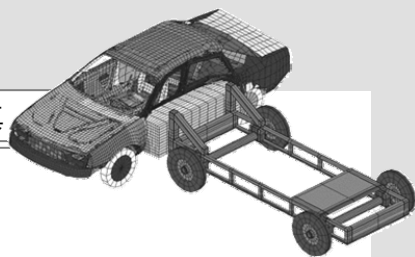


图 2-200 “PlotWindow-1” 窗口

图 2-200 显示了不同时刻被选择单元沿竖直方向的位移。至此本例的任务完成。

## 2.14 小结

本章主要介绍了在 ANSYS LS-DYNA 模块下建立模型的常用方法。布尔运算是十分有用的建模方法。使用布尔运算可以将简单的图形元素组合成复杂的图形体。本章中也介绍了工作坐标系和工作平面, 转动工作坐标系后建模及使用工作平面分割图形元素在解决实际问题的过程中不可或缺。



## 第3章 网格划分

本章介绍使用 ANSYS LS-DYNA 分析软件进行单元划分（或网格划分）的方法。网格划分的好坏不但影响计算时间的长短，并且影响计算结果的准确性。精通单元划分技术可以使前处理时间和计算时间大为减少，并且也能保证计算结果的可靠。本章简明扼要地介绍单元划分的步骤，并结合实例给出许多技巧。作者对一些重要的单元理论做了说明，以便读者能够透彻地理解整个操作过程。如果对单元划分有一定的基础，读者也可以直接开始本章 3.11 节“实例 3”的上机练习。实例 3 给出了完整的前处理过程，初学者可以轻松应对。本章中的其余例题也给出了详尽说明，便于没有接触过单元划分的读者学习。为了不引起混乱，本章一律使用 kg-m-s 单位制。



### 本章内容

- 实体单元划分
- 板壳单元划分
- 单元划分的质量控制
- 单元划分的局部加密

## 3.1 LS-DYNA 单元类型

LS-DYNA 分析软件中常用到的单元有三类：实体单元、板壳单元和其他单元。实体单元用于一般物体的分析；板壳单元用于分析薄壁构件，如飞机、船舶等；其他单元通常用于分析特殊构件，如弹簧、阻尼、集中质点、集中转动惯量、梁、绳、杆等。合理使用这些单元可以大量节省建模和计算时间。

### 3.1.1 实体单元

实体单元一般用来对实体模型进行单元划分，使用实体单元可以对各种形状的物体划分单元。ANSYS LS-DYNA 前处理器提供了自动划分单元的功能，但要得到高质量的网格，使用者需要对划分过程加以控制。使用实体单元可以比较精确地分析模型中各点的应力与应变。通常情况下读者最好使用六面体单元，这样可以得到较好的计算结果。为了给复杂形状物体划分单元，ANSYS LS-DYNA 软件中还提供了三棱柱、三棱锥及四棱锥（见图 3-1）等实体单元。

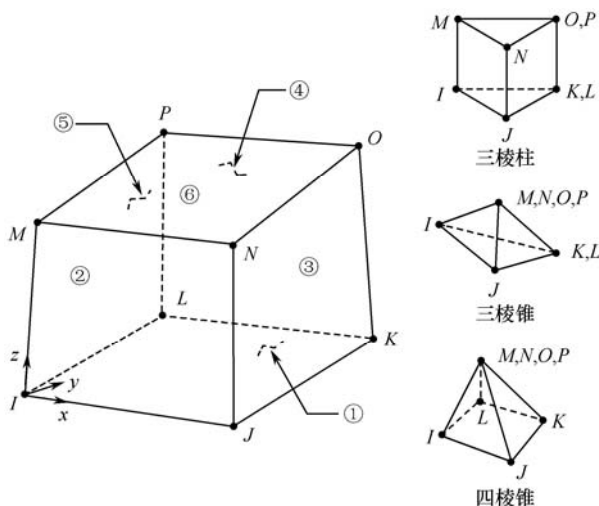


图 3-1 实体单元

划分单元前，首先要定义好材料的属性；划分单元时，材料的属性便施加给了单元。比如，要计算两个小球撞击过程中碰撞力随时间的变化，首先要给出小球的材料属性，直观地说就是给出材料的软硬轻重等。假定小球为线弹性材料，则需给出小球的密度、杨氏模量及泊松比。同时，单元的大小也必须根据实际情况而定。划分单元过程中，应当避免出现个别尺寸太小的单元。个别尺寸太小的单元将极大地增加计算时间。

#### 【案例 3-1】长方体划分单元格

用自由网格为一个边长为  $0.3 \times 0.2 \times 0.1$  的长方体划分单元。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面；

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口(见图 3-2)。单击该窗口中的“Add”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口(见图 3-3)。

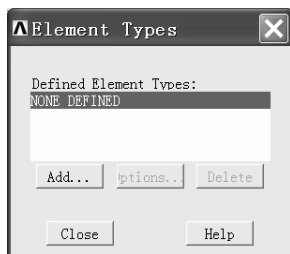


图 3-2 “Element Types”窗口

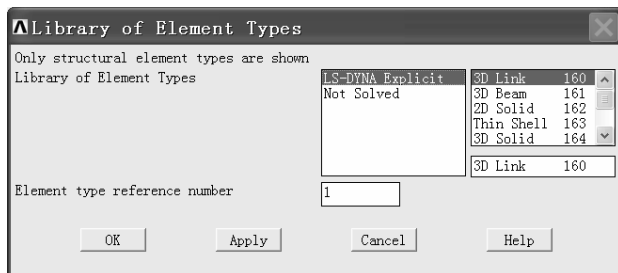


图 3-3 “Library of Element Types”窗口

(4) 在“Library of Element Types”窗口的左边方框中选中“LS-DYNA Explicit”, 在右边方框中选中“3D Solid 164”, 再单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口。在“Element Types”窗口中单击“Close”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 弹出“Define Material Model Behavior”窗口(见图 3-4)。单击窗口右边方框中的“LS-DYNA”→“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”, 弹出“Linear Isotropic Properties for...”窗口(见图 3-5)。

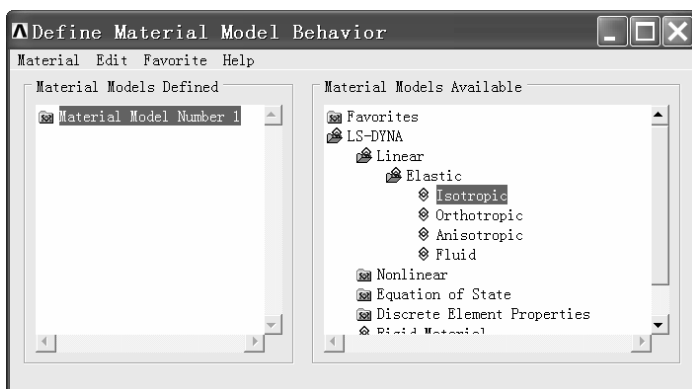


图 3-4 “Define Material Model Behavior”窗口

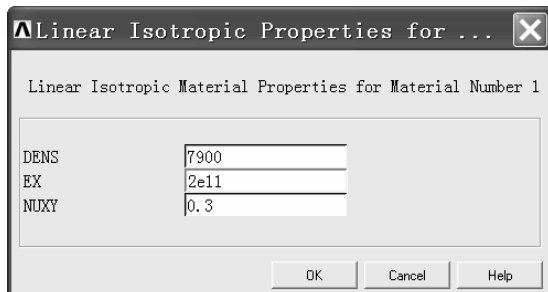


图 3-5 “Linear Isotropic Properties for...”窗口

(6) 在“Linear Isotropic Properties for...”窗口中“DENS”后的方框内输入“7900”，在“EX”后的方框内输入“2e11”，在“NUXY”后的方框中输入“0.3”。以上输入表示：材料的密度为  $7900\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2 \times 10^{11}\text{Pa}$ ，泊松比为 0.3。特别说明，以上输入框中“2e11”表示“ $2 \times 10^{11}$ ”，同理“5e-6”表示“ $5 \times 10^{-6}$ ”。再单击“OK”按钮返回“Define Material Model Behavior”窗口，单击该窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>ByDimensions，弹出“Create Block by Dimensions”窗口（见图 3-6）；在“X1, X2 X-coordinates”后的第二个方框中输入“0.3”（第一个方框中没有填写任何数字，默认为“0”），在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的第二个方框中输入“0.2”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的第二个方框中输入“0.1”，然后单击“OK”按钮，长方体已生成。

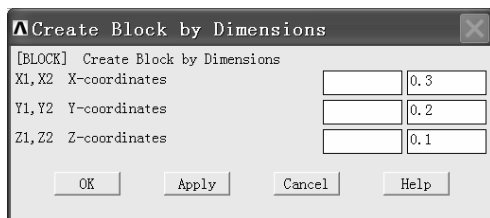


图 3-6 “Create Block by Dimensions”窗口

(8) 单击操作界面右侧视图工具条中的“Isometric View”按钮（见图 3-7），改变视图的观察方位，显示轴测图（见图 3-8）。

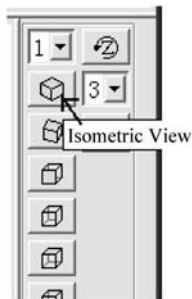


图 3-7 视图工具条

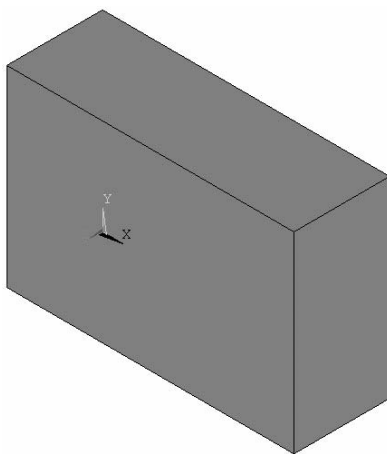


图 3-8 长方体轴测图

(9) 下面划分单元。依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口（见图 3-9）。在“Element Attributes:”下的方框中选择“Global”，再单击该方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口（见图 3-10）。在“Meshing Attributes”窗口中进行以下操作：在“[TYPE] Element type number”后的方框中选择“1 SOLID164”，在“[MAT] Material number”后的方框中选择“1”，再单击“OK”按钮，返回“MeshTool”窗口。在“MeshTool”窗口中“Mesh:”后的方框中选择“Volumes”，在“Shape:”后选中“Tet”，再选中“Free”。单击“Mesh”按钮弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 3-11）。

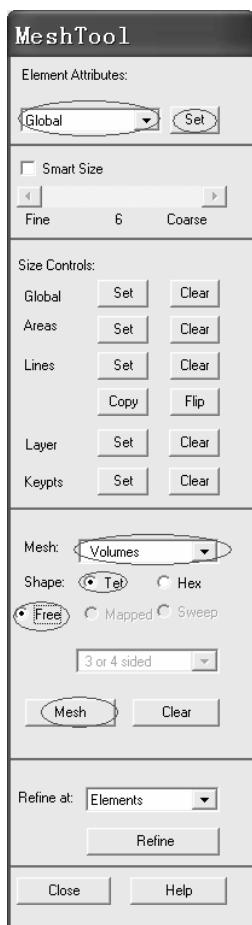


图 3-9 “MeshTool” 窗口

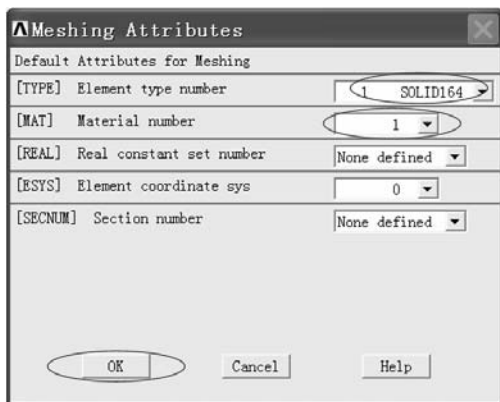


图 3-10 “Meshing Attributes” 窗口

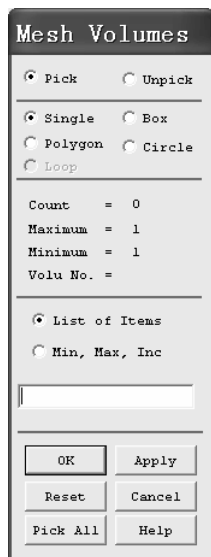


图 3-11 “Mesh Volumes” 窗口

(10) 单击“Mesh Volumes”窗口中的“Pick All”按钮，弹出“Warning”窗口（见图 3-12）。该“Warning”窗口警告：用四面体单元的计算准确度比用六面体单元的计算准确度差。通常，使用自由网格划分单元时需要用四面体单元。单击“Close”按钮关闭“Warning”窗口。图形界面出现完成单元划分的模型（见图 3-13）。

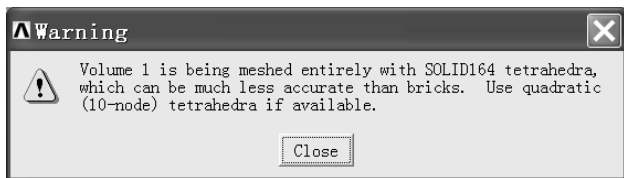


图 3-12 “Warning” 窗口

### 【案例 3-2】映射法划分网格

用映射网格方法为一个 L 形的体模型划分单元。该例题展示了划分高质量单元的常用技巧。

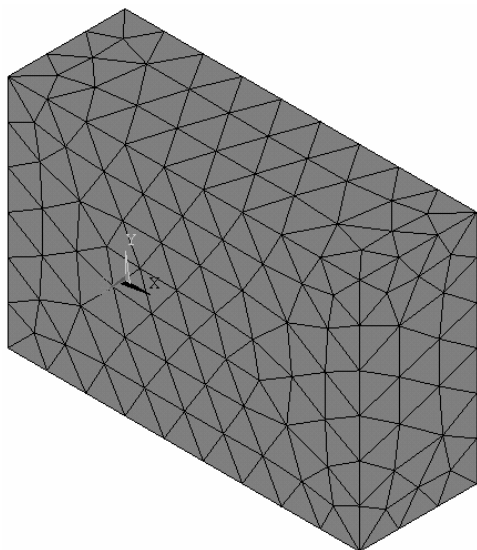


图 3-13 划分单元后的模型

- (1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。
- (2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将背景变为白色。
- (3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口 (见图 3-14)。单击该窗口中的“Add”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口 (见图 3-15)。

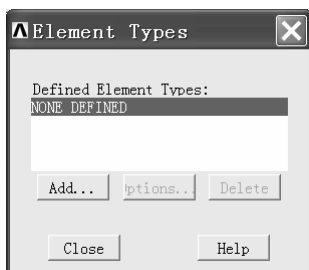


图 3-14 “Element Types”窗口

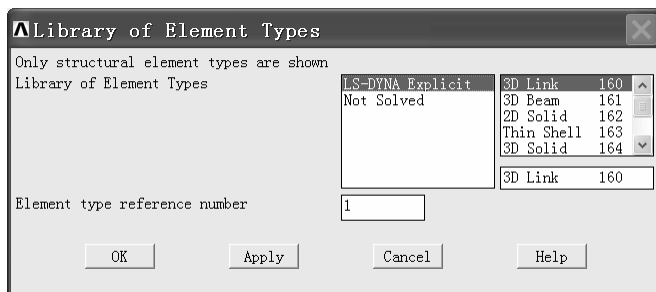


图 3-15 “Library of Element Types”窗口

- (4) 在“Library of Element Types”窗口的左方框中选中“LS-DYNA Explicit”, 在右方框中选中“3D Solid 164”, 再单击“OK”按钮返回“Element Types”窗口, 单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

- (5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 弹出“Define Material Model Behavior”窗口 (见图 3-16)。单击窗口右方框中的“LS-DYNA”→“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”, 弹出“Linear Isotropic Properties for...”窗口 (见图 3-17)。

- (6) 在“Linear Isotropic Properties for...”窗口中“DENS”后的方框内输入 7900, 在“EX”后的方框内输入  $2 \times 10^{11}$ , 在“NUXY”后的方框中输入“0.3”。以上输入表示: 材料的密度为  $7900 \text{ kg/m}^3$ , 杨氏模量为  $2 \times 10^{11} \text{ Pa}$ , 泊松比为 0.3。再单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口, 单击该窗口右上角的叉号关闭该窗口。



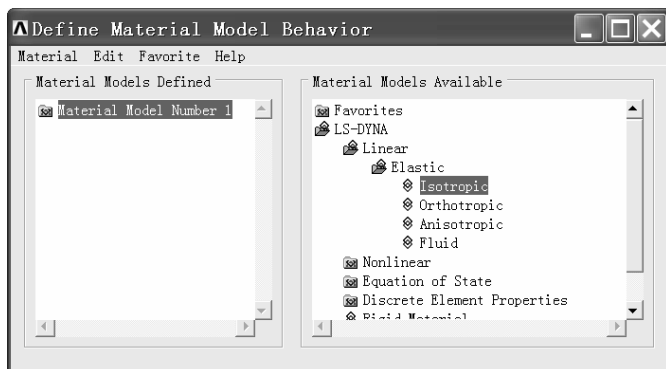


图 3-16 “Define Material Model Behavior” 窗口

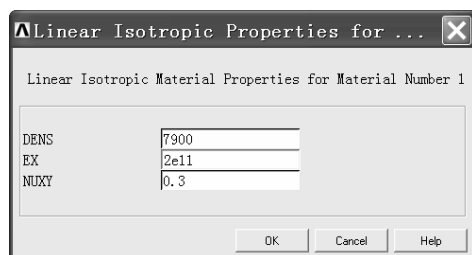


图 3-17 “Linear Isotropic Properties for...” 窗口

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>ByDimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口(见图 3-18), 在“X1, X2 X-coordinates”后的第二个方框中输入“0.1”, 在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的第二个方框中输入“0.1”, 在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的第二个方框中输入“0.1”, 然后单击“Apply”按钮生成一个长方体, 并再次弹出“Create Block by Dimensions”窗口(说明: 单击“Apply”按钮, 表示执行一次操作, 并再次弹出该命令窗口; 单击“OK”按钮, 表示执行一次操作, 但命令窗口也消失)。

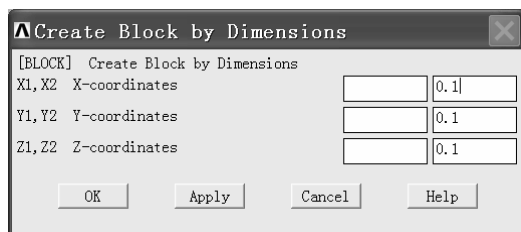


图 3-18 “Create Block by Dimensions” 窗口

(8) 继续在“Create Block by Dimensions”窗口中进行以下操作: 在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中依次输入“0.1”、“0.2”, 在“Y1, Y2 Y-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“0.1”, 在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中输入“0”、“0.1”, 然后单击“Apply”按钮生成第二个长方体, 并再次弹出“Create Block by Dimensions”窗口。

(9) 继续在“X1, X2 X-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“0.1”, 在“Y1,

Y2 Y-coordinates”后的两个方框中依次输入“0.1”、“0.2”，在“Z1, Z2 Z-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“0.1”，然后单击“OK”按钮生成第三个长方体。

(10) 单击操作界面右侧视图工具条中的“Isometric View”按钮（见图 3-19），改变视图的观察方位，L 形的体模型已经出现（见图 3-20）。但是，此时 L 形模型是三个独立的立方体，并不是结合在一起的整体（如果用力推，三个体就分开了）。

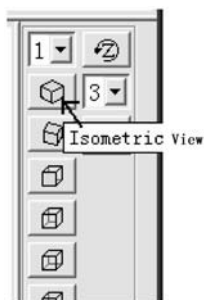


图 3-19 视图工具条

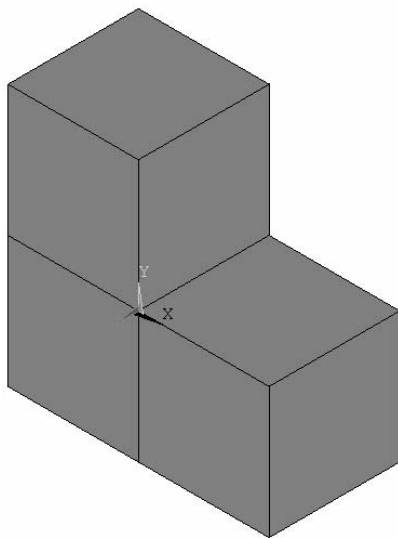


图 3-20 L 形体模型

(11) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volumes，弹出“Glue Volumes”窗口（见图 3-21），单击“Pick All”按钮，三个独立的立方体被黏结在一起。

(12) 下面划分单元。依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口（见图 3-22）。在“Element Attributes:”下的方框中选择“Global”，再单击该方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口（见图 3-23）。在“Meshing Attributes”窗口中进行以下操作：在“[TYPE] Element type number”后的方框中选择“1 SOLID164”，在“[MAT] Material number”后的方框中选择“1”，再单击“OK”按钮返回到“MeshTool”窗口。

(13) 在“MeshTool”窗口中单击“Lines”后的“set”按钮，弹出“Element Si...”窗口（见图 3-24）。单击“Element Si...”窗口中的“Pick All”按钮，弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口（见图 3-25）。在“Element Sizes on Picked Lines”窗口中“SIZE Element edge length”后的方框中输入“0.02”，然后单击“OK”按钮返回到“MeshTool”窗口（此时“MeshTool”窗口可能被操作界面遮蔽，将操作界面挪开即可看见，或者重新执行 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，以此打开“MeshTool”窗口）。以上操作表示在体模型的边界上规定单元的边长为“0.02”。

(14) 在“MeshTool”窗口“Mesh:”后的方框中选择“Volumes”，在“Shape:”后选中“Hex”，再选中“Mapped”，单击“Mesh”按钮弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 3-26），单击该窗口中的“Pick All”按钮，体模型完成单元划分（见图 3-27）。

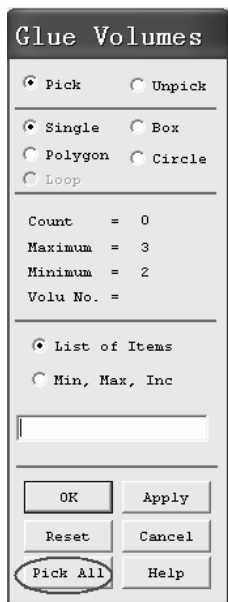


图 3-21 “Glue Volumes” 窗口

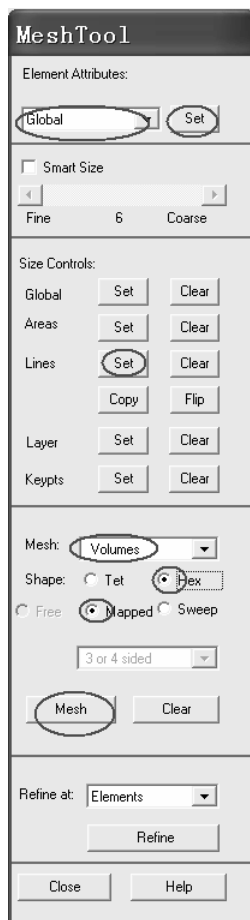


图 3-22 “MeshTool” 窗口

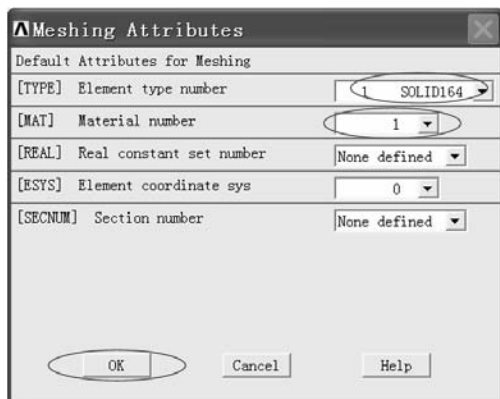


图 3-23 “Meshing Attributes” 窗口

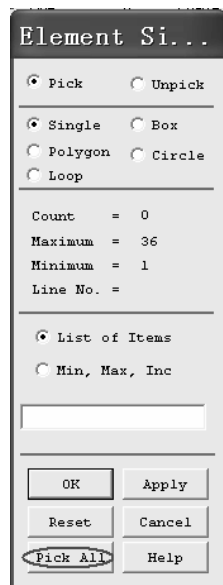


图 3-24 “Element Si...” 窗口

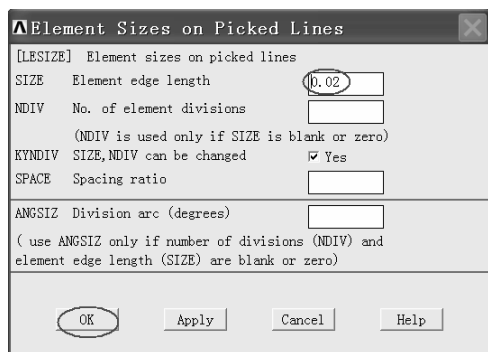


图 3-25 “Element Sizes on Picked Lines” 窗口

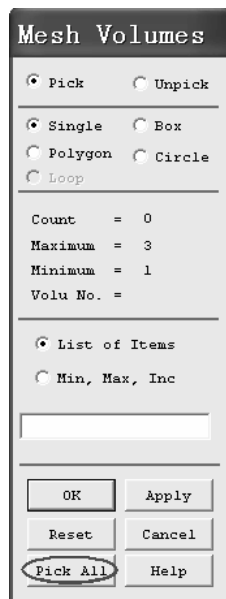


图 3-26 “Mesh Volumes” 窗口

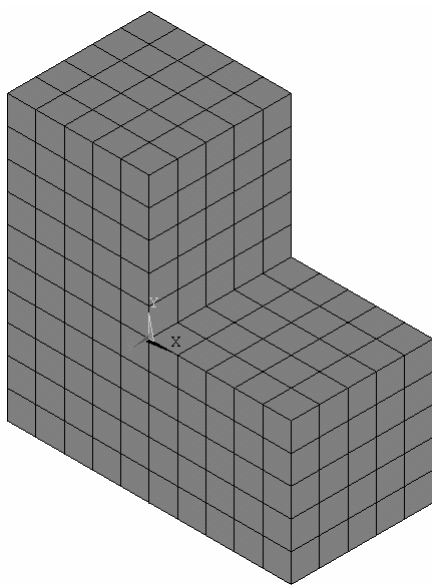


图 3-27 划分单元后的模型



### 应用·技巧

使用映射网格可以划分出高质量的单元，这也是我们通常应当选择的方法。但使用映射网格划分单元往往要求模型有简单的形状，如六面体等。为了使用映射单元划分，建模时我们可以将复杂的模型拆分为简单的图形元素，然后将它们胶结起来。这样可以保留简单图形的边界，便于划分单元。

### 3.1.2 板壳单元

板壳单元可以准确高效地模拟薄壁结构。由于其计算效率高,该单元在工程中应用极为广泛。为了说明该单元的计算高效性,这里举个例子:对一块薄板进行变形分析。薄板长 $\times$ 宽 $\times$ 厚为 $1\times 1\times 0.01$ 。如果使用板壳单元,使用边长为0.05(厚度的5倍)的单元即可获得比较精确的结果,此时所用的单元数为400( $20\times 20$ )个;如果使用实体单元,按板厚方向只有5层单元计算,单元的边长为 $0.01/5=0.002$ 。此时,实体单元所需数量为1 250 000( $500\times 500\times 5$ )个。使用不同单元,其计算量差别如此之大。使用板壳单元可以模拟复杂的薄壁结构,如车身、船体、飞机舱体等。

板壳单元的形状有两种(图 3-28):一种为四边形,另一种为三角形。四边形单元的精度较好。使用自由网格划分单元时可能会用到三角形单元。无特殊情况,建议使用映射网格划分四边形单元。

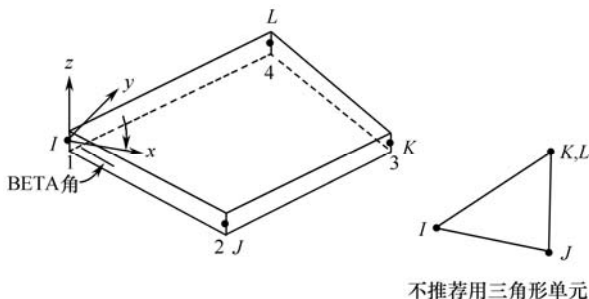


图 3-28 板壳单元的形状

下面用两个例题来说明使用板壳单元的网格划分方法和步骤。

#### 【案例 3-3】圆管单元格划分

对一段圆管划分单元。圆管长为1,半径为0.5,板厚为0.01。

- (1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。
- (2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将背景变为白色。
- (3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Preferences, 弹出“Preferences for GUI Filtering”窗口(见图 3-29),选中“Structural”和“LS-DYNA Explicit”,然后单击“OK”按钮。此操作选择了 ANSYS 中的“LS-DYNA Explicit”产品模块,过滤掉不必要的菜单。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口(见图 3-30)。单击该窗口中的“Add”按钮,弹出“Library of Element Types”窗口(见图 3-31)。

(5) 在“Library of Element Types”窗口的左边方框中选中“LS-DYNA Explicit”,在右边方框中选中“Thin Shell 163”,再单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口。在“Element Types”窗口中单击“Close”按钮。

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants, 弹出“Real Constants”窗口(见图 3-32)。单击“Add...”按钮,弹出“Element T...”窗口(图 3-33)。单击“Element T...”

窗口中的“OK”按钮，弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口（见图 3-34），单击“OK”按钮，弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口（见图 3-35）。

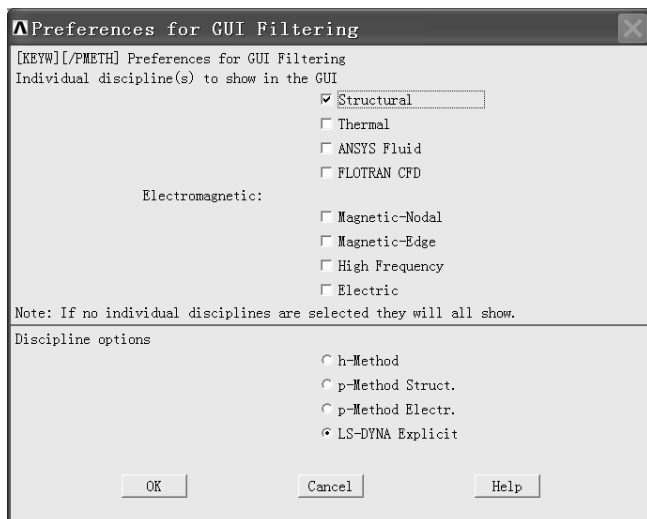


图 3-29 “Preferences for GUI Filtering” 窗口

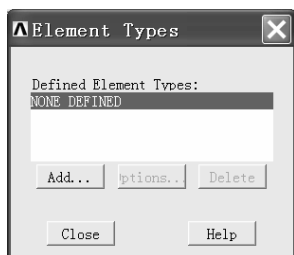


图 3-30 “Element Types” 窗口

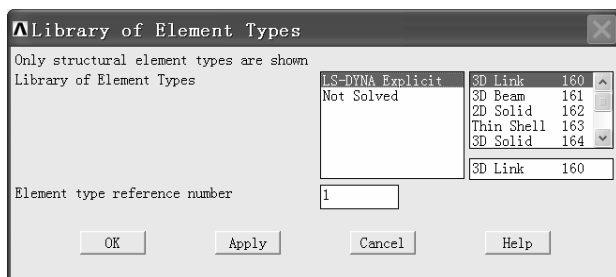


图 3-31 “Library of Element Types” 窗口



图 3-32 “Real Constants” 窗口

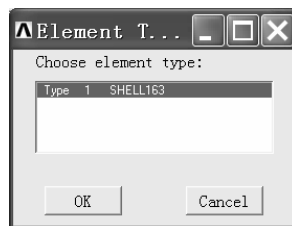


图 3-33 “Element T...” 窗口

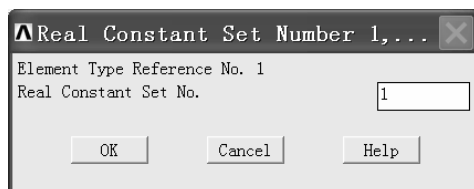


图 3-34 “Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

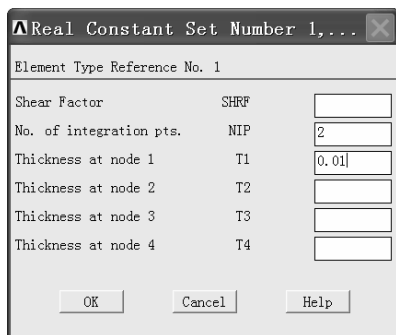


图 3-35 另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口

(7) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“NIP”后的方框中输入“2”，在“T1”后的方框中输入“0.01”（即板厚）。再单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。单击“Real Constants”窗口中的“Close”按钮。

(8) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 3-36）。单击窗口右边方框中的“LS-DYNA”→“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”，弹出“Linear Isotropic Properties for...”窗口（见图 3-37）。

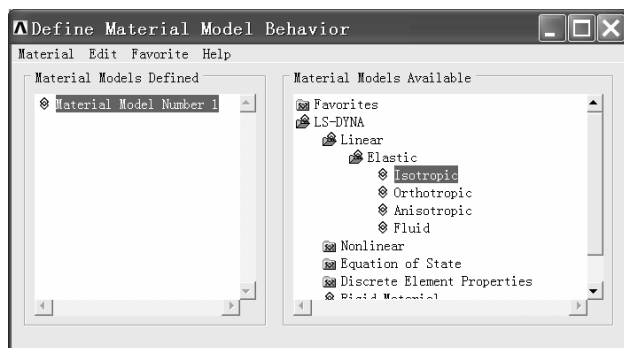


图 3-36 “Define Material Model Behavior”窗口

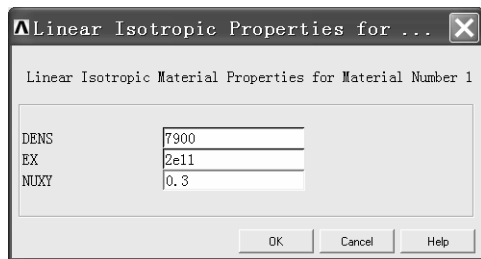


图 3-37 “Linear Isotropic Properties for ...”窗口

(9) 在“Linear Isotropic Properties for...”窗口中“DENS”后的方框内输入 7900，在“EX”后的方框内输入“2e11”，在“NUXY”后的方框中输入“0.3”。以上输入表示：材料的密度为  $7900\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2 \times 10^{11}\text{Pa}$ ，泊松比为 0.3。再单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口，单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(10) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>By Dimensions, 弹出“Create Cylinder by Dimensions”窗口(见图 3-38); 在“Outer radius”后的方框中输入“0.5”, 在“Optional inner radius”后的方框中输入“0”, 在“Z-coordinates”后的两个方框中依次输入“0”、“1”, 在“Starting angle (degrees)”后的方框中输入“0”, 在“Ending angle (degrees)”后的方框中输入“360”, 然后单击“OK”按钮生成圆柱体。

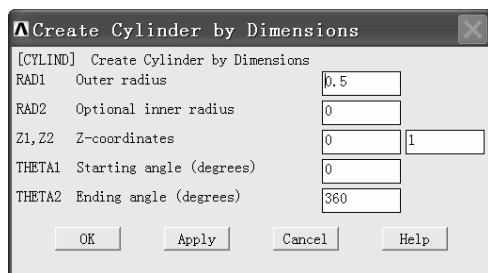


图 3-38 “Create Cylinder by Dimensions”窗口

(11) 单击操作界面右侧视图工具条中的“Isometric View”按钮(见图 3-39), 改变视图的观察方位(见图 3-40)。

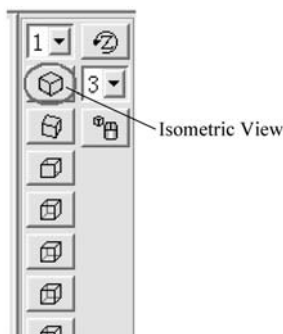


图 3-39 视图工具条



图 3-40 改变视图的观察方位

(12) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volumes Only, 弹出“Delete Vol...”窗口(见图 3-41)。单击“Pick All”按钮, 图形窗口中的视图消失。

(13) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 圆柱面重新出现在图形界面。

(14) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Areas Only, 弹出“Delete Are...”窗口。用鼠标左键分别单击选中圆柱体的两个圆形底面, 然后单击“Delete Are...”窗口中的“OK”按钮。执行 Utility Menu>Plot>Areas, 圆柱面重新显示(见图 3-42)。

(15) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口(见图 3-43)。单击“Lines”后的“Set”按钮, 弹出“Element Si...”窗口(见图 3-44)。单击“Element Si...”窗口中的“Pick All”按钮, 弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口(见图 3-45)。在“Element Sizes on Picked Lines”窗口中“No. of element divisions”后的方框中输入“20”(表示把圆柱面上的每一条边界划分为 20 份, 每一份的长度即为单元的长度。注意, 这里圆柱面上的半圆弧为一条边界, 两条半圆弧才能构成一个圆周)。然后单击



“OK”按钮返回“MeshTool”窗口。如果“MeshTool”窗口被操作界面遮蔽了找不到，也可再次执行 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool 来弹出窗口。

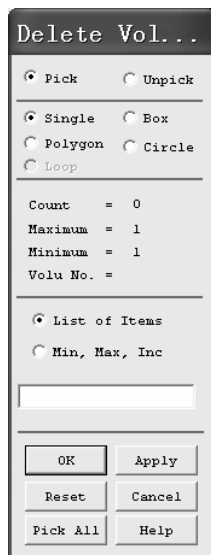


图 3-41 “Delete Vol...” 窗口



图 3-42 圆柱面重新显示

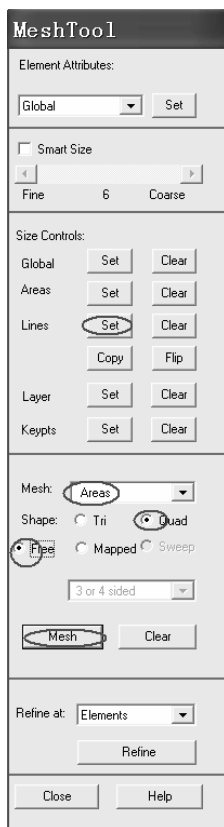


图 3-43 “MeshTool” 窗口

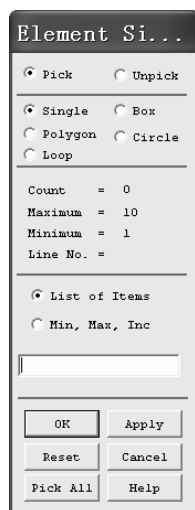


图 3-44 “Element Si...” 窗口

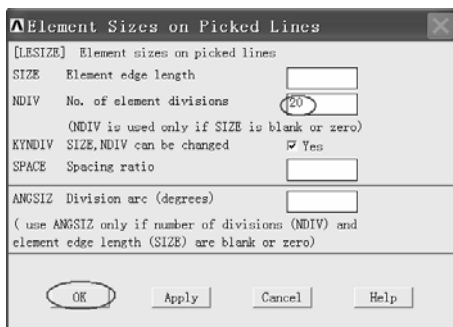


图 3-45 “Element Sizes on Picked Lines...” 窗口

(16) 在“MeshTool”窗口中“Mesh:”后的方框中选择“Areas”，在“Shape:”后选中“Quad”（即四边形网格，“Tri”表示三角形网格）。再选中“Free”。单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Areas”窗口（见图 3-46）。单击“Mesh Areas”窗口中的“Pick All”按钮，完成单元划分（见图 3-47）。

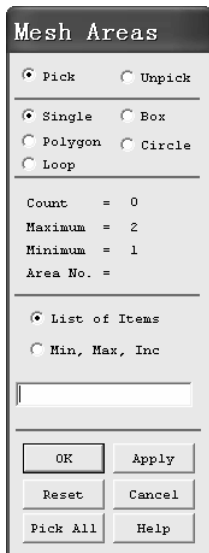


图 3-46 “Mesh Areas” 窗口

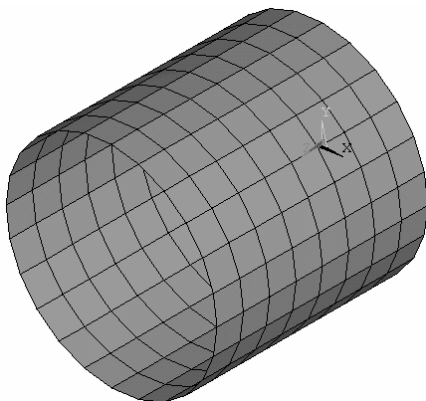


图 3-47 划分单元后的圆柱面

### 【案例 3-4】 不规则多种材料板材的单元划分

给一块 L 形角钢划分单元。L 形角钢长 1m，由不同材质、不同厚度的两块金属板焊接而成。一块为钢板，其长×宽×厚=1×0.1×0.01，其密度为 7900kg/m<sup>3</sup>，杨氏模量为 2×10<sup>11</sup>Pa，泊松比为 0.3；另一块为铜板，其长×宽×厚=1×0.15×0.015，其密度为 8900kg/m<sup>3</sup>，杨氏模量为 1×10<sup>11</sup>Pa，泊松比为 0.3。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Preferences，弹出“Preferences for GUI Filtering”窗口（见图 3-48），选中“Structural”和“LS-DYNA Explicit”，然后单击“OK”按钮。此操作选择 ANSYS 中的“LS-DYNA Explicit”产品模块，过滤掉不必要的菜单。

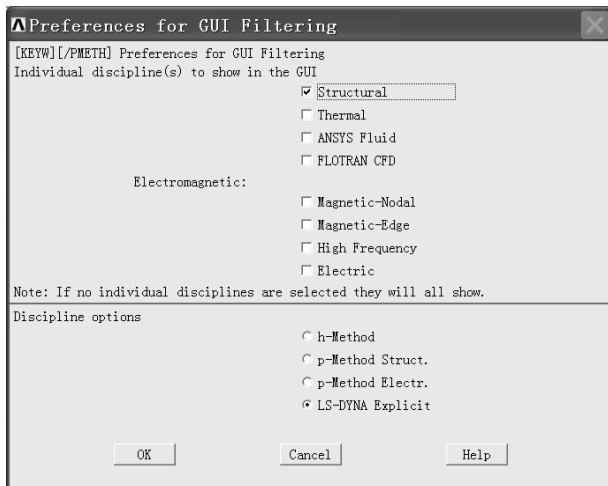


图 3-48 “Preferences for GUI Filtering” 窗口

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口(见图 3-49)。单击该窗口中的“Add”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口(见图 3-50)。

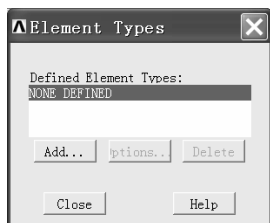


图 3-49 “Element Types” 窗口

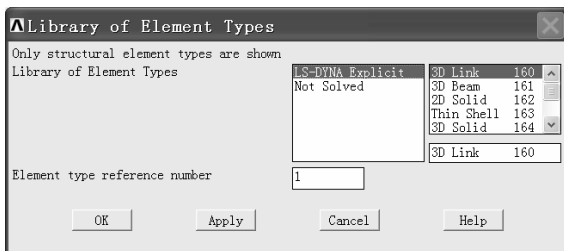


图 3-50 “Library of Element Types” 窗口

(5) 在“Library of Element Types”窗口的左边方框中选中“LS-DYNA Explicit”, 在右边方框中选中“Thin Shell 163”, 再单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口。在“Element Types”窗口中单击“Close”按钮。

(6) 依次选择 Main Menu>preprocessor>Real Constants, 弹出“Real Constants”窗口(见图 3-51)。单击“Add...”按钮, 弹出“Element T...”窗口(图 3-52)。单击“Element T...”窗口中的“OK”按钮, 弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口(见图 3-53), 单击“OK”按钮, 弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口(见图 3-54)。

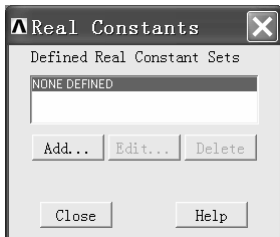


图 3-51 “Real Constants” 窗口

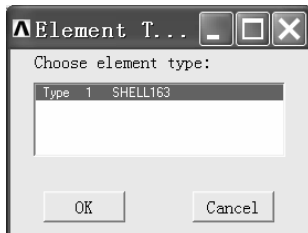


图 3-52 “Element T...” 窗口

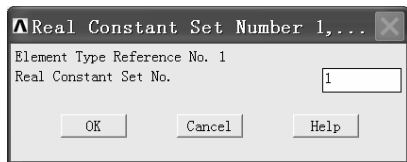


图 3-53 “Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

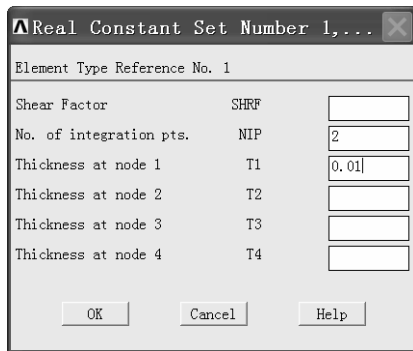


图 3-54 另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

(7) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“NIP”后的方框中输入“2”，在“T1”后的方框中输入“0.01”（即板厚），再单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。

(8) 单击“Real Constants”窗口中的“Add”按钮，再次弹出“Element T...”窗口，单击“Element T...”窗口中的“OK”按钮，弹出“Real Constant Set Number 2, ...”窗口（见图 3-55）。保持默认设置，单击“OK”按钮（该窗口中“Real Constant Set No.”后面方框中的“2”表示材料实常数的编号），弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 2, ...”窗口（见图 3-56）。

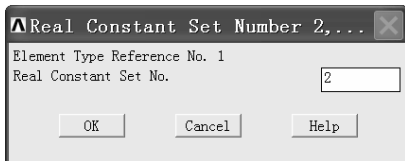


图 3-55 “Real Constant Set Number 2, ...” 窗口

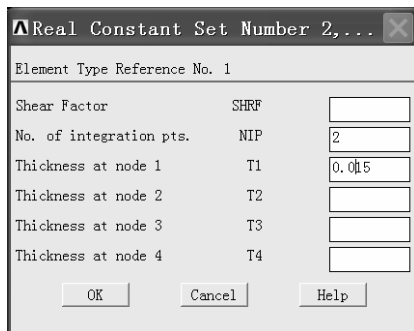


图 3-56 另一种形式的“Real Constant Set Number 2, ...” 窗口

(9) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 2, ...”窗口中“NIP”后的方框中输入“2”，在“T1”后的方框中输入“0.015”（即板厚）。再单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口，单击“Real Constants”窗口中的“Close”按钮。

(10) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 3-57）。单击窗口右边方框中的“LS-DYNA”→“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”，弹出“Linear Isotropic Properties for...”窗口（见图 3-58）。

(11) 在“Linear Isotropic Properties for...”窗口中“DENS”后的方框内输入 7900，在“EX”后的方框内输入“2e11”，在“NUXY”后的方框中输入“0.3”。以上输入表示：材料的密度为  $7900\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2 \times 10^{11}\text{Pa}$ ，泊松比为 0.3。再单击“OK”按钮返回到

“Define Material Model Behavior” 窗口。以上输入的是钢板材料属性。

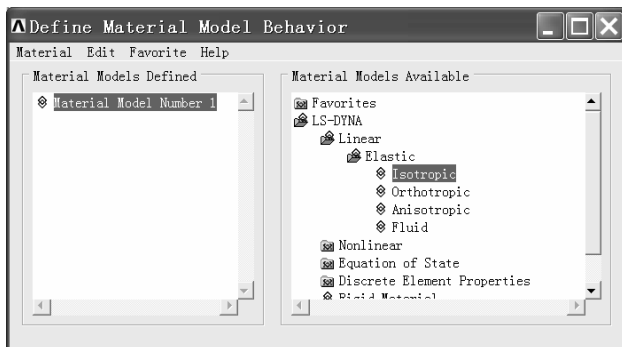


图 3-57 “Define Material Model Behavior” 窗口

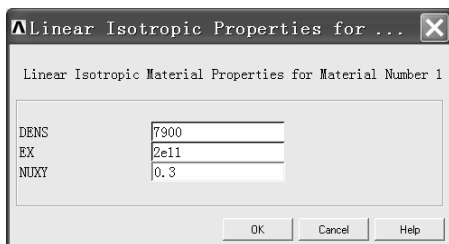


图 3-58 “Linear Isotropic Properties for ...” 窗口

(12) 单击“Define Material Model Behavior”窗口左上角的“Material”菜单，弹出一个下拉菜单。单击该下拉菜单中的“New Model...”，弹出“Define Materi...”窗口（见图 3-59）。该窗口中的序号“2”为新添加材料属性的序号，即铜板材料属性的序号。保持默认设置，单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口。

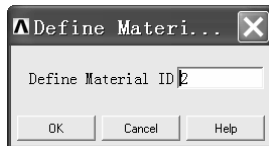


图 3-59 “Define Materi ...” 窗口

(13) 用鼠标左键单击选中“Define Material Model Behavior”窗口左边框内的“Material Model Number 2”（见图 3-60），用鼠标左键单击右边方框中的“LS-DYNA”，再继续单击“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”，弹出“Linear Isotropic Properties for ...”窗口（见图 3-61）。

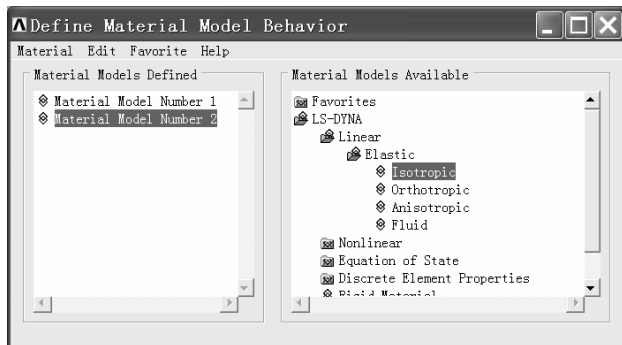


图 3-60 “Define Material Model Behavior” 窗口

(14) 在“Linear Isotropic Material Properties for ...”窗口中“DENS”后的方框内输入8900，在“EX”后的方框内输入“1e11”，在“NUXY”后的方框内输入“0.3”。然后单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口。单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(15) 单击操作界面右上角视图工具栏中的“Isometric View”（见图 3-62），将视图放置于轴测图位置。

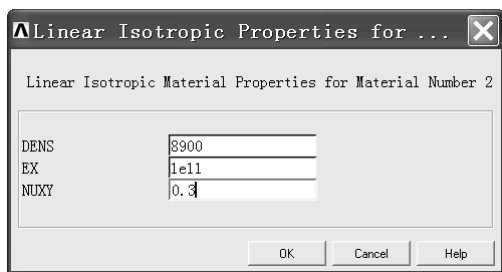


图 3-61 “Linear Isotropic Properties for ...”窗口

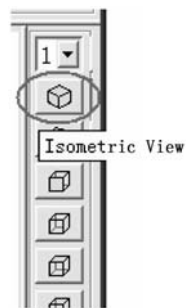


图 3-62 视图工具条

(16) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS，弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。在“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口中“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0”、“0”、“0”，再单击“Apply”按钮，生成第 1 个关键点。继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“1”、“0”、“0”，单击“Apply”按钮，生成第 2 个关键点。继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“1”、“0.1”、“0”，单击“Apply”按钮，生成第 3 个关键点。继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0”、“0.1”、“0”，单击“Apply”按钮，生成第 4 个关键点。以上 4 个点为钢板 4 个角的位置（见图 3-63）。

(17) 继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“0”、“0”、“0.15”，单击“Apply”按钮，生成第 5 个关键点。继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次填入“1”、“0”、“0.15”，单击“OK”按钮，生成第 6 个关键点。关键点 1、5、6、2 为铜板 4 个角的位置（见图 3-63）。

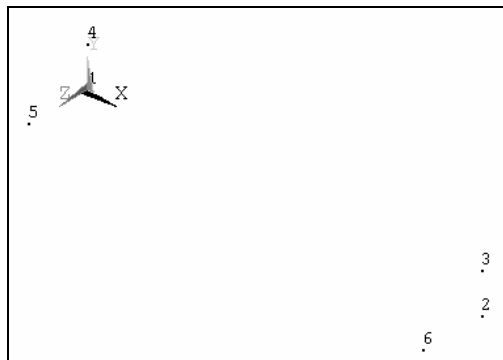


图 3-63 六个关键点

(18) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>Through KPs, 弹出“Create Are...”窗口(见图 3-64)。用鼠标左键依次单击关键点 1、2、3、4, 然后单击“Create Are...”窗口中的“Apply”按钮, 生成第一个面(钢板); 继续用鼠标左键依次单击关键点 1、5、6、2, 然后单击“Create Are...”窗口中的“OK”按钮, 生成第二个面(铜板)。

(19) 将鼠标指向图形界面(即刚才建立的两个面), 滚动鼠标中键缩放图形, 刚才建立的两个面消失只剩下几个关键点。执行 Utility Menu>Plot>Areas, 两个面重新显示出来(见图 3-65)。单击操作界面右侧视图工具条上的“Fit View”按钮(见图 3-66), 视图按合适的大小显示。

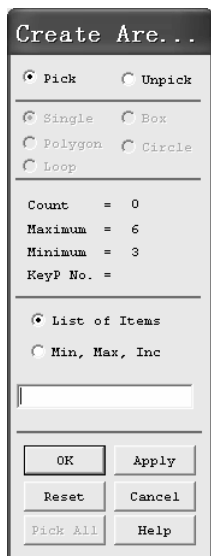


图 3-64 “Create Are...”窗口

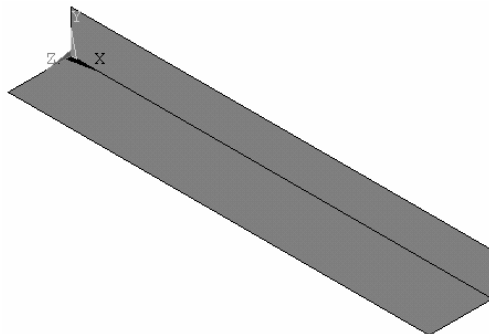


图 3-65 两个面重新显示



图 3-66 视图工具条

(20) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“Mesh Tool”窗口(图 3-67)。在“Element Attributes:”下面的方框内选中“Global”, 然后单击该方框后面的“Set”按钮, 弹出“Meshing Attributes”窗口(见图 3-68), 在该窗口中“Element type number”后面的方框中选择“1 SHELL163”, 在“Material number”后的方框中选择“1”, 在“Real constant set number”后的方框中选择“1”。然后单击“OK”按钮返回到“MeshTool”窗口。以上操作选择出了钢板(较窄的板)的单元、材料和实常数(板厚等的设置)。

(21) 单击“MeshTool”窗口中“Lines”后面的“Set”按钮, 弹出“Element Si...”窗口(图 3-69)。单击“Element Si...”窗口中的“Pick All”按钮, 弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口(见图 3-70)。在“Element Sizes on Picked Lines”窗口中“Element edge length”后的方框内输入“0.025”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮, 返回到“MeshTool”窗口(如果看不到“MeshTool”窗口, 可以重新执行一次 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool)。

(22) 选中“MeshTool”窗口中“Mesh:”后方框内的“Areas”, 再选中“Shape:”后的“Quad”, 再选中“Mapped”, 然后单击“Mesh”按钮(以上选择见图 3-67), 弹出“Mesh Areas”窗口(见图 3-71)。用鼠标左键单击选中图形界面中宽度较窄的矩形(即钢板, 选中后颜色改变)。再单击“Mesh Areas”窗口中的“OK”按钮, 钢板完成单元划分(见图 3-72)。

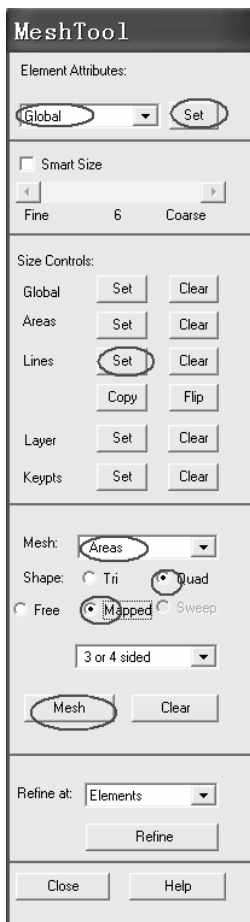


图 3-67 “MeshTool”窗口

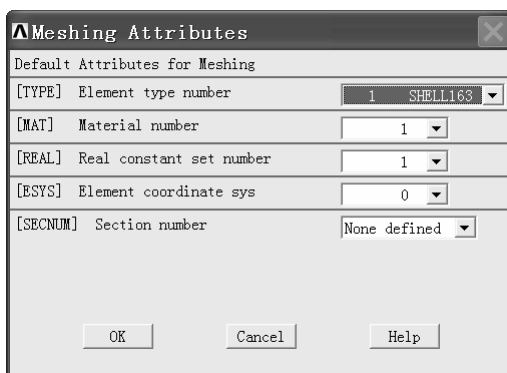


图 3-68 “Meshing Attributes”窗口

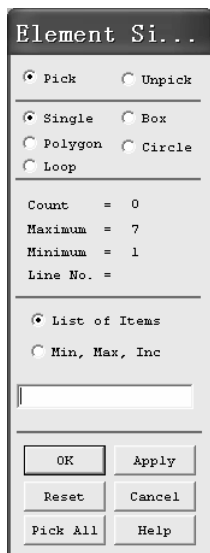


图 3-69 “Element Si...”窗口

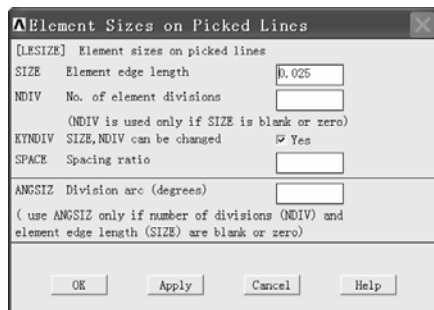


图 3-70 “Element Sizes on Picked Lines”窗口



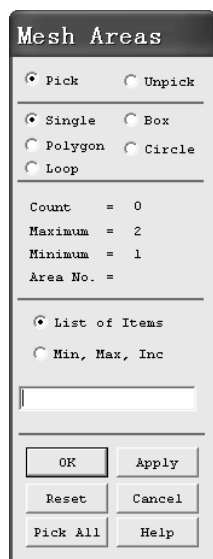


图 3-71 “Mesh Areas” 窗口

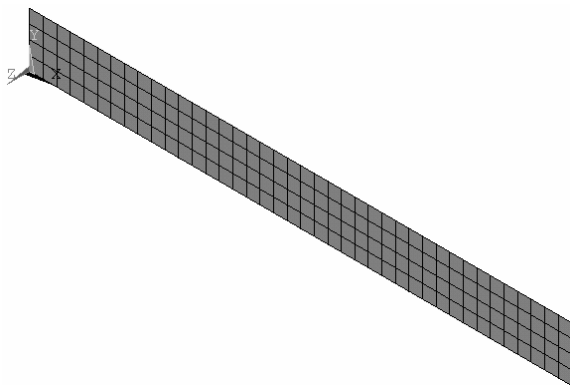


图 3-72 钢板完成单元划分

(23) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 图形界面重新显示两个面。

(24) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口(见图 3-73)。在“MeshTool”窗口中“Element Attributes:”下的方框中选择“Global”, 单击该方框后的“Set”按钮, 弹出“Meshing Attributes”窗口(见图 3-74)。在该窗口中“Element type number”后的方框中选择“1 SHELL163”, 在“Material number”后的方框中选择“2”, 在“Real constant set number”后的方框中选择“2”, 然后单击该窗中的“OK”按钮返回到“MeshTool”窗口。以上操作设置了铜板(较宽的那块板)的单元、材料、实常数(板厚等参数)。

(25) 在“MeshTool”窗口中选择“Mesh:”后面方框中的“Areas”, 再选中“Shape:”后面的“Quad”, 再选中“Mapped”, 最后单击“Mesh”(以上选择可见图 3-73 所示)按钮, 弹出“Mesh Areas”窗口(见图 3-75)。用鼠标左键单击图形界面中较宽的矩形板(即铜板), 然后单击“Mesh Areas”窗口中的“OK”按钮, 铜板也完成单元划分(见图 3-76)。

### 3.1.3 其他单元

在 LS-DYNA 中, 使用实体单元和板壳单元已经可以解决许多工程问题, 但有还很多问题这两类单元难以处理的, 原因主要有两点: (1) 使用板壳单元或实体单元模拟某些结构时计算量太大, 如用实体单元模拟梁或杆; (2) 很多情况下使用实体单元或板壳单元难以实现模拟, 如模拟粘壶、绳索。LS-DYNA 提供了大量专门单元。合理使用这些单元既可以方便建模, 又可以节省大量计算资源。比较常用的其他单元有模拟梁的梁单元 BEAM161、模拟杆的杆单元 LINK160、模拟弹簧阻尼的弹簧——粘壶单元 COMBI165、绳单元 LINK167、质量单元 MASS166(可模拟集中质量、转动惯量)。

这里以工程中经常用到的质量单元做一个实例演示。

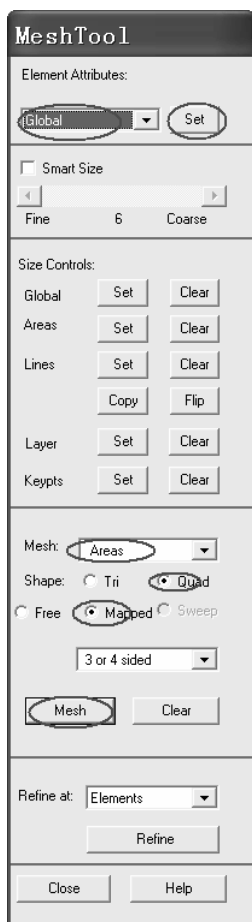


图 3-73 “MeshTool” 窗口

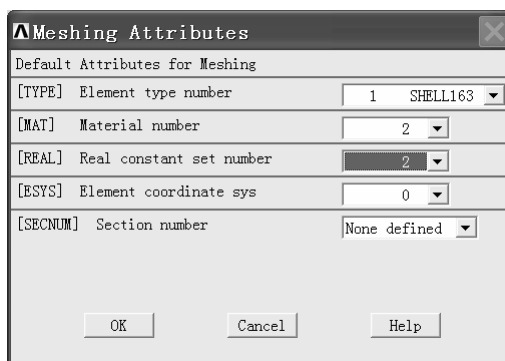


图 3-74 “Meshing Attributes” 窗口

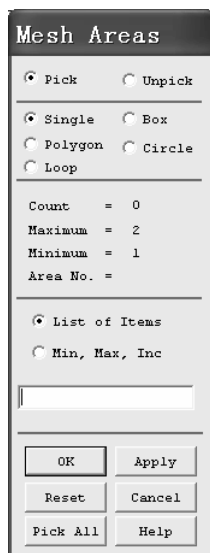


图 3-75 “Mesh Areas” 窗口

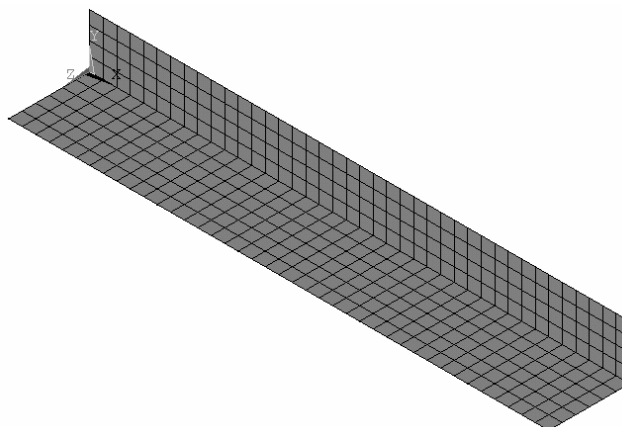


图 3-76 铜板完成单元划分

### 【案例 3-5】 矩形板的网格划分

给一块矩形板划分单元。矩形板长为 1m，宽为 0.1m，板厚 0.01m。板的密度为  $7900\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2 \times 10^{11}\text{Pa}$ ，泊松比为 0.3。板的一端有 2kg 的集中质量。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete，弹出“Element Types”窗口（见图 3-77）。单击该窗口上的“Add...”按钮，弹出“Library of Element Types”窗口（见图 3-78），选中“Library of Element Types”窗口中右边方框内的“Thin Shell 163”，然后单击“Apply”按钮，继续选中“Library of Element Types”窗口中右侧方框内的“3D Mass 166”，然后单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口。

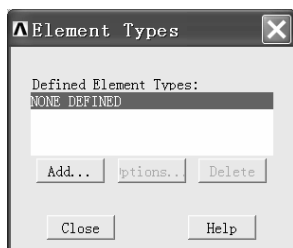


图 3-77 “Element Types”窗口

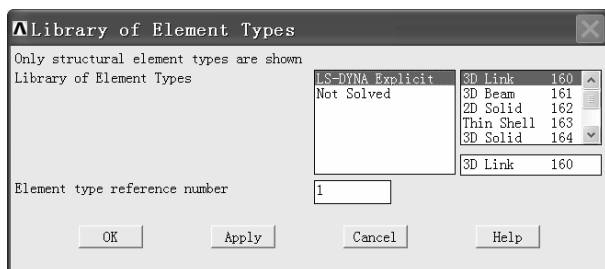


图 3-78 “Library of Element Types”窗口

(4) 此时“Element Types”窗口中的方框内出现两种单元，即“Type 1 SHELL163”和“Type 2 MASS166”。用鼠标左键单击选中“Type 2 MASS166”（见图 3-79），然后单击“Options...”，弹出“MASS166 element type options”窗口（见图 3-80），单击“MASS166 element type options”窗口中的“OK”按钮重新返回到“Element Types”窗口，最后单击“Close”按钮。

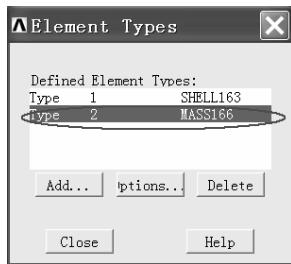


图 3-79 “Element Types”窗口

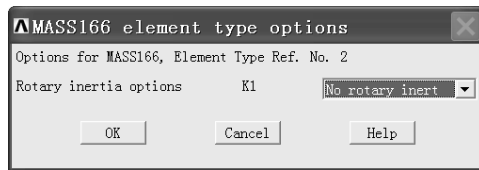


图 3-80 “MASS166 element type options”窗口

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants，弹出“Real Constants”窗口（见图 3-81），单击“Add...”按钮，弹出“Element Type f...”窗口（见图 3-82）。单击选中该窗口中方框内的“Type 1 SHELL163”，然后单击“OK”按钮弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口（见图 3-83），单击“OK”按钮，弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”（见图 3-84）。在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“No. of integration pts. NIP”后的方框中输入“2”；在“Thickness at node 1 T1”后的方框中输入“0.01”，然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。



图 3-81 “Real Constants” 窗口

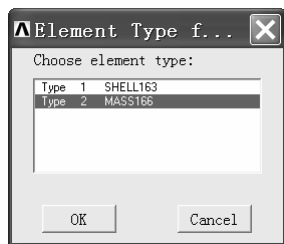


图 3-82 “Element Type f...” 窗口

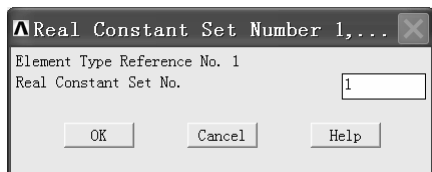


图 3-83 “Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

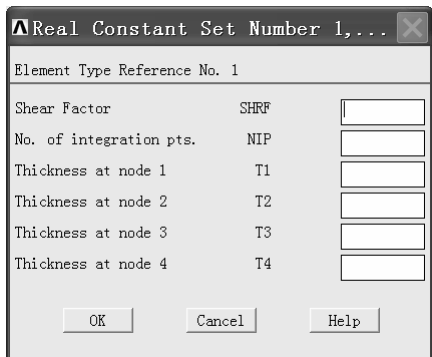


图 3-84 另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

(6) 单击“Real Constants”窗口中的“Add...”按钮，弹出“Element Type f...”窗口，单击选中“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 2 MASS166”，然后单击“OK”按钮，弹出“Real Constant Set Number 2, for MASS166”窗口（见图 3-85）。在该窗口中“Mass MASS”后的方框中输入“1”，表示单元的质量为 1，然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口，单击“Close”按钮。

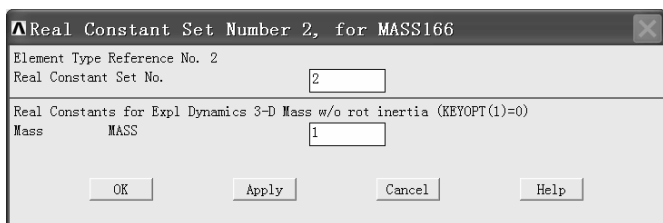


图 3-85 “Real Constant Set Number 2, for MASS 166” 窗口

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 3-86）。单击该窗口右侧的“LS-DYNA”，继续单击“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”，弹出“Linear Isotropic Properties for ...”窗口（见图 3-87）。在该窗口中“Linear Isotropic Properties for ...”后的方框内输入“7900”，在“EX”后的方框内输入“2e11”，在“NUXY”后的方框内输入“0.3”，然后单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口，单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

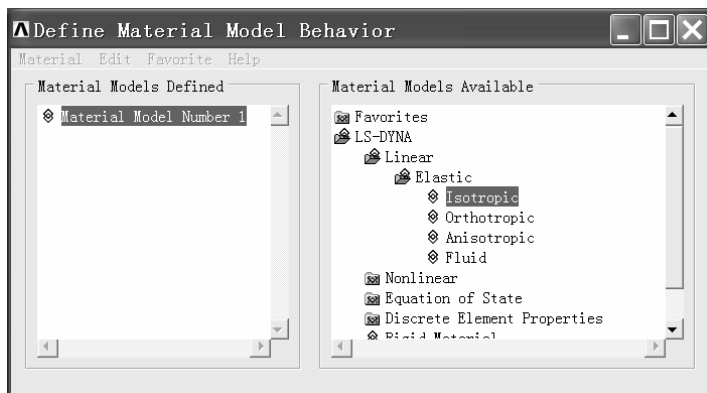


图 3-86 “Define Material Model Behavior” 窗口

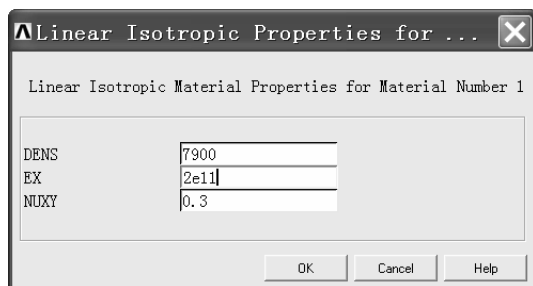


图 3-87 “Linear Isotropic Properties for...” 窗口

(8) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions, 弹出“Create Rectangle by Dimensions”窗口(见图 3-88)。在“X-coordinates”后的两个方框内依次输入“0”、“1”; 在“Y-coordinates”后的两个方框内依次输入“0”、“0.1”, 然后单击“OK”按钮生成矩形板(图 3-89)。

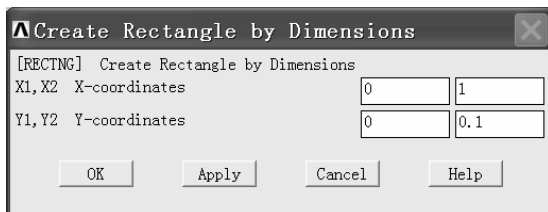


图 3-88 “Create Rectangle by Dimensions” 窗口



图 3-89 矩形板

(9) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口(见图 3-90), 在“Element Attribute:”下的方框中选择“Global”, 然后单击该方框后的“Set”按钮, 弹出“Meshing Attributes”窗口(见图 3-91)。在“Meshing Attributes”窗口中“Element type number”后的方框中选择“1 SHELL163”, 在“Material number”后的方框中

选择“1”，在“Real constant set number”后的方框中选择“1”，然后单击“OK”按钮返回“MeshTool”窗口。

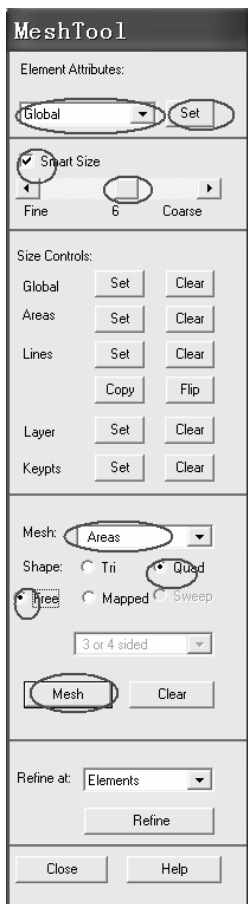


图 3-90 “MeshTool”窗口

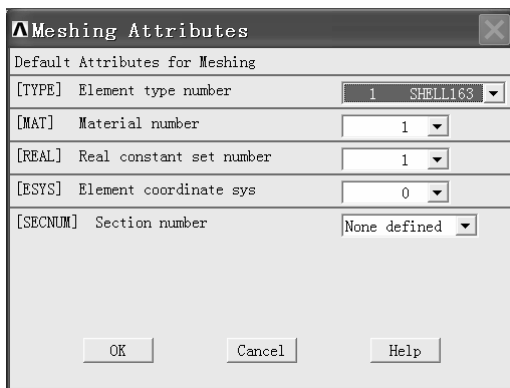


图 3-91 “Meshing Attributes”窗口

(10) 选中“MeshTool”窗口中的“Smart Size”(见图 3-90)，再拖动“Smart Size”下边水平滑动按钮，直到水平滑动按钮下面出现数字“6”为止。该操作是用来自动确定单元网格大小的。当水平滑动按钮下面的数字越大时，单元的尺寸也越大。在“Mesh 按钮”后的方框中选择“Areas”；在“Shape:”后选中“Quad”，再选中“Free”，单击“Mesh”按钮弹出“Mesh Areas”窗口(见图 3-92)。单击“Pick All”按钮，矩形板完成单元网格划分(见图 3-93)。

(11) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Elements>Elem Attributes，弹出“Element Attributes”窗口(见图 3-94)。在该窗口中“Element type number”后的方框中选择“2 MASS166”，在“Real constant set number”后的方框中选择“2”，然后单击“OK”按钮。

(12) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Numbering...，弹出“Plot Numbering Controls”窗口(见图 3-95)。选中“Node numbers”，即在“Node numbers”后的复选框内打勾，然后单击“OK”按钮，图形界面中各单元节点的序号显示出来(见图 3-96)。

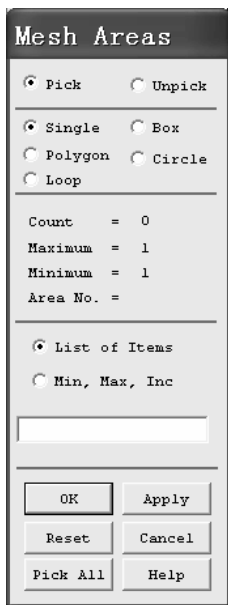


图 3-92 “Mesh Areas” 窗口



图 3-93 矩形板完成网格划分

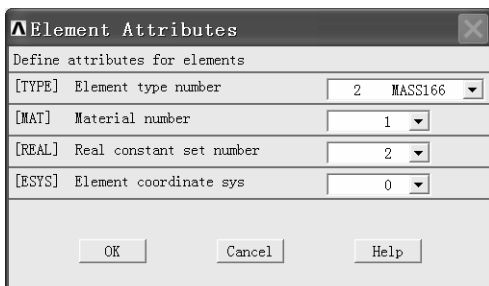


图 3-94 “Element Attributes” 窗口

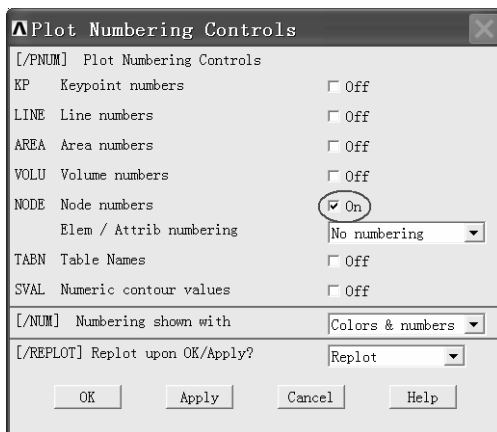


图 3-95 “Plot Numbering Controls” 窗口

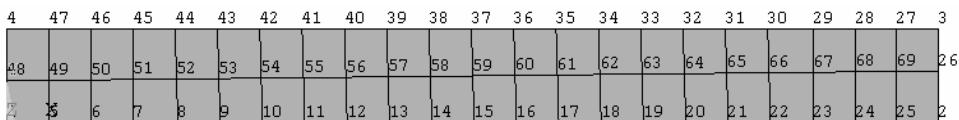


图 3-96 显示节点序号

(13) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Elements>Auto Numbered>Thru Nodes, 弹出“Elements f...”窗口(见图 3-97)。单击选中矩形板右上角的节点, 即 3 号节点, 然后单击“Elements f...”窗口中的“Apply”按钮。再单击选中矩形板左下角的节点, 即 2 号节点, 然后单击“Elements f...”窗口中的“OK”按钮。以上操作建立了两个质量分别为 1 (如果统一使用 kg-m-s 单位制, 则质量的单位为 kg) 的质量单元, 且两个质量单元与矩形板的右端连接在一起。

(14) 依次选择 Utility Menu>List>Elements>Nodes+Attributes, 弹出“ELIST Command”窗口(见图 3-98)。该窗口列出了所有单元的编号、单元的材料、单元的种类、单元所用到的实常数、各个单元的节点等信息。图 3-98 中最后两列即为两个质量单元的信息。

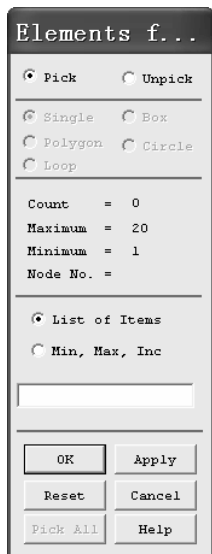


图 3-97 “Elements f...” 窗口



图 3-98 “ELIST Command” 窗口

## 3.2 单元的选取

在 LS-DANY 中, 单元选取是否适当直接影响模拟结果质量的准确性和计算时间的长短。这里有必要介绍各种常用单元的使用场合。作者结合自己的经验, 用具体的实例说明各种单元的特点。

实体单元“2D Solid 162”。该单元只能用于二维平面分析。由于该单元的使用范围有限及算法精度的缺陷, 这种单元在工程中很少使用。即使工程中需要分析二维平面问题, 也往往使用“3D Solid 164”单元。比如, 可以用单层的“3D Solid 164”单元加上适当的边界条件来模拟平面问题, 这样处理不但计算速度快, 而且得到的结果也更准确(与使用“2D Solid 162”单元相比)。

实体单元“3D Solid 164”可以用于很多场合。它可以有效地模拟各种形状不规则的实体, 精确分析应力和应变等。下面用两个例子说明其用法。

如图 3-99 所示为模拟硬度计对金属材料的挤压过程及金属材料的回弹, 四棱锥形的硬度计压头挤压金属试件表面, 压头附近的金属发生变形产生流动(图中只给出一个截面)。这里四棱锥与金属试件都适合于用实体单元来模拟。使用实体单元可以精确地给出几何尺寸, 且只要单元足够细密, 就可以较为准确地得到各处的应力和应变。

再例如, 分析钢箱梁支座处的局部变形和应力, 单元的选择需要根据情况而定。比如, 分析钢箱梁整体结构的变形时可用板壳单元(Thin Shell 163), 这既不损失计算精度还可节省计算时间, 但如要分析钢箱梁支座处的局部变形及应力情况, 最好用“3D Solid 164”, 这样可以得到更多的信息, 如沿板厚的应力情况、焊点的应力应变等。



实体单元具有分析直观、计算结果信息全面等优点，但使用实体单元往往会用到很大的存储空间和计算内存，因此在适当的条件下使用其他单元是很有必要的。

板壳单元“Thin Shell 163”在工程中极为常用。该单元常用来模拟各种形式的板壳，如飞机壳体、汽车车身、轮船壳体、箱梁、钢管桩等。下面以两个例子来说明板壳单元的应用场合。

如图 3-100，所示为模拟金属保温杯坠地后的变形情况。金属保温杯由内、外两层金属壳体组成。保温杯内层和外层都可以用板壳单元划分网格。板壳的变形量很容易从后处理结果中查找出来。



图 3-99 硬度计挤压金属试件

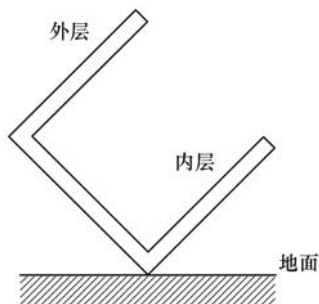


图 3-100 保温杯坠地

又如，模拟管道在事故载荷下的变形情况。车辆撞击输油管道或重物坠落在管道上都有可能使管道失效。用板壳单元给管道划分网格是经常使用的。使用板壳单元可以方便、准确地得到撞击力和管道的变形量。

另外“3D Beam 161”单元可以用于模拟梁结构，当然也可以用来模拟钢架类结构；“3D Link 160”单元常用来模拟杆件，如建筑物的桁架等；“3D Mass 166”单元用来模拟集中质量和转动惯量；“Sprng-Dampr 165”单元用来模拟弹簧和阻尼；“Link 167”常用来模拟绳索。

### 3.3 单元的实常数

LS-DYNA 中单元的实常数用于补充说明单元的一些特征。比如，使用板壳单元时，实常数可以定义板厚；使用梁单元时，实常数可以定义截面尺寸等；实常数也可以定义绳单元的截面尺寸，定义质量单元的质量、转动惯量等。因为板壳单元极为常用，这里有必要详细介绍板壳单元实常数的设置。

#### 【案例 3-6】 定义板的实常数

定义板的实常数，板厚为 0.01m。

(1) 在 ANSYS LS-DYNA 启动窗口（即“14.0 ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口，见图 3-101）中“Simulation Environment:”下面选择“ANSYS”；在“License:”下面选择“ANSYS LS-DYNA”；在“Working Directory:”后的方框中随便输入一个目录，如“D:\example”；在“Job Name:”后的方框中随便输入一个工作名，如“exam”。然后单击“RUN”按钮，打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

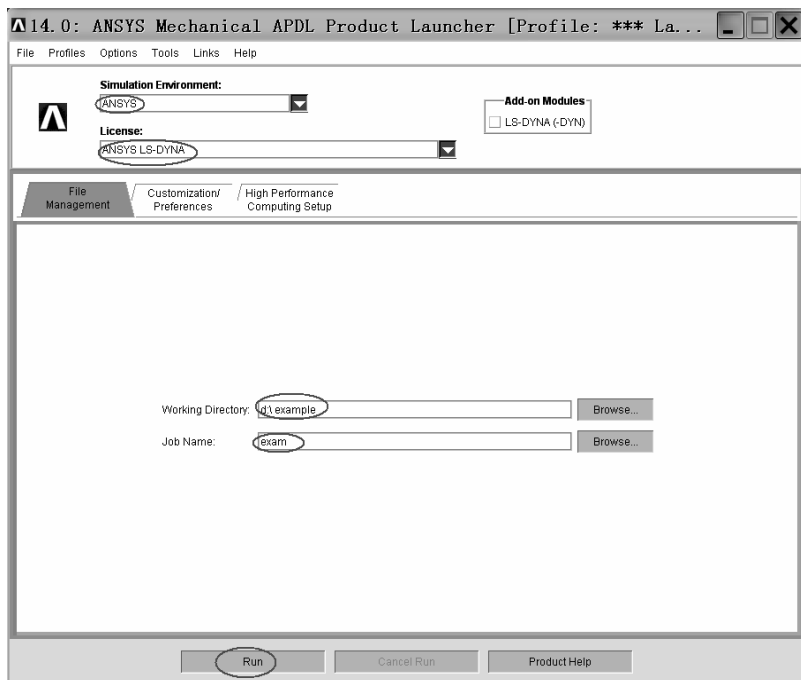


图 3-101 ANSYS LS-DYNA 启动窗口

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口。单击该窗口上的“Add”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口, 选中“Library of Element Types”窗口中右方框内的“Thin Shell 163”, 然后单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口, 单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants, 弹出“Real Constants”窗口, 单击“Add”按钮 (见图 3-102), 弹出“Element Type f...”窗口 (见图 3-103)。单击“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 1 SHELL163” (选中后为蓝色背景色, 表示将对“Type 1 SHELL163”这种单元设置实常数), 然后单击“OK”按钮, 弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口 (见图 3-104)。该窗口中“Real Constant Set No.”后的方框内是默认的实常数序号。可以对实常数序号重新编号, 比如, 这里将“Real Constant Set No.”后的方框内的数字改为“3”, 然后单击“OK”按钮, 弹出“Real Constant Set Number 3, ...”窗口 (见图 3-105) 窗口。



图 3-102 “Real Constants”窗口

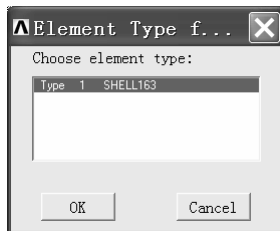


图 3-103 “Element Type f...”窗口

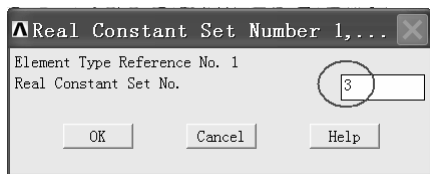


图 3-104 “Real Constant Set Nuber 1, ...” 窗口

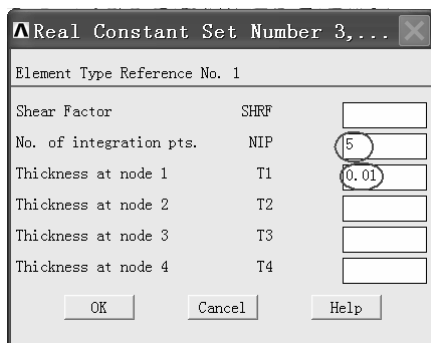


图 3-105 “Real Constant Set Nuber 3, ...” 窗口

(5) 在“Real Constant Set Number 3, ...”窗口中有一个“No. of integration pts. NIP”输入项, 该项很重要, 它的设置紧密关系到板壳单元计算的准确性。这一项表示沿板壳厚度方向积分点的个数。保持默认时(即这项什么也不填), 积分点的个数为 2。如果板壳为线弹性材料, 则取 2 个积分点已经足够; 如果板壳为其他材料, 则积分点的个数必须大于 2。这里取 5 个积分点, 即在“No. of integration pts. NIP”后的方框内输入“5”。“Thickness at node 1 T1”表示板壳单元上一个节点处的厚度。如果单元 4 个节点处的厚度一样, 则只需在“Thickness at node 1 T1”后的方框内填写板厚, 其他节点处的厚度不必填写。比如, 这里只需在“Thickness at node 1 T1”后的方框内填入“0.01”(当然将 4 个节点处的厚度全部都填上“0.01”也可以)。如果单元各个节点处的厚度不同, 则需要填入所有节点处的板厚。

### 3.4 单元属性定义

LS-DYNA 提供了许多材料模型, 如线弹性模型常用来分析金属材料的双线性模式, 用于分析橡胶等物体的超弹性模型, 混凝土模型用于分析低碳钢等在冲击载荷下动态响应的 Cowper-Symonds 模型等。这里所说的单元属性即是材料的力学特性等, 如密度、本构关系。线弹性本构关系经常用于材料仅产生微小应变的场合。当材料产生大应变或达到塑性应变时就要用到其他模型, 如超弹性模型、双线性模型、Cowper-Symonds 模型等。这里将演示双线性模型和 Cowper-Symonds 模型在 LS-DYNA 中的设置, 这两种材料模型在工程中经常使用。

双线性材料模型如图 3-106 所示。满足该模型的材料受到单向拉伸时, 其应力应变关系为两段笔直的线。两条线的连接点为材料的屈服点。这种模型适用于模拟部分金属材料在准静态载荷下的力学行为, 也适合于模拟铝(铝的应变率效应不明显)在动态载荷下的力学行为。在实际中, 金属材料的拉伸应力-应变曲线并非理想的两段笔直的线, 模型只是用比较方便、近似的关系表示了材料的力学特性。LS-DYNA 程

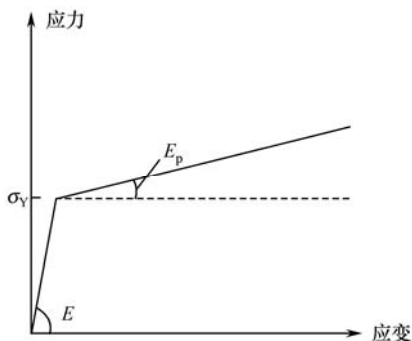


图 3-106 双线性材料模型

序中所用到的应力-应变曲线为真实应力-应变曲线，非工程应力-应变曲线。在小应变下，这两种曲线很接近。

注意，材料模型的参数一般需要用实验测定，或者查看有关手册来获得。本书中例题给出的材料参数只起演示作用。

### 【案例 3-7】建立双线性材料模型

建立一个双线性材料模型。材料的密度为 $\rho=2700\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量 $E=7\times 10^{10}\text{Pa}$ ，切线模量 $E_p=7\times 10^7\text{Pa}$ ，屈服应力 $\sigma_y=1\times 10^8\text{Pa}$ ，泊松比 $\lambda=0.27$ 。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 3-107）。单击该窗口右侧方框中的“LS-DYNA”，继续单击“Nonlinear”，“Inelastic”，“Isotropic Hardening”，“Bilinear Isotropic”，弹出“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口（见图 3-108）。

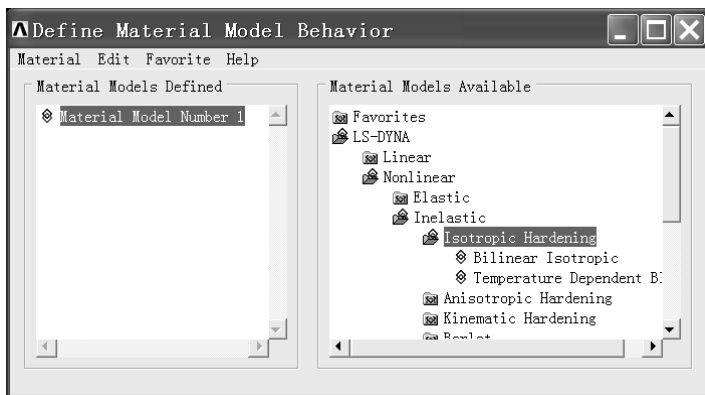


图 3-107 “Define Material Model Behavior”窗口

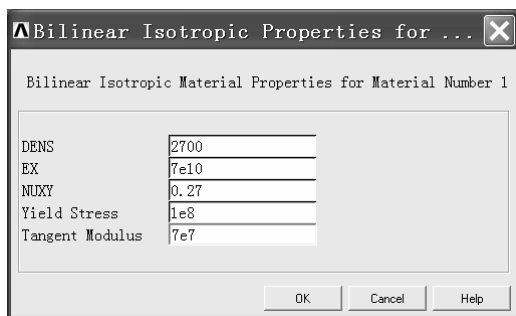


图 3-108 “Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口

(4) 在“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中“DENS”后的方框中输入“2700”，在“EX”后的方框中输入“7e10”，在“NUXY”后的方框中输入“0.27”，在“Yield Stress”后的方框中输入“1e8”，在“Tangent Modulus”后的方框中输入“7e7”。以上输入依次表示材料的密度、杨氏模量、泊松比、屈服应力、切线模量。然后单击“OK”按钮返

回到“Define Material Model Behavior”窗口，单击该窗口右上角的叉号关闭该窗口。

Cowper-Symonds 模型较好地描述了低碳钢等材料在动态冲击下的力学特能。该模型的主要特点是随着材料应变率的提高，材料的流动屈服应力也提高了，即在高应变率下，材料的强度更高。其定量的公式如下：

$$\sigma_Y = \left[ 1 + \frac{\dot{\epsilon}^{\frac{1}{P}}}{C} \right] (\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_p^{\text{eff}})$$

式中， $\sigma_Y$  为流动（或动态）屈服应力； $\sigma_0$  为初始屈服应力，即应变率无限小时的屈服应力； $\dot{\epsilon}$  为应变率； $C$ 、 $P$  为材料常数（根据材料而定）； $\epsilon_p^{\text{eff}}$  为有效塑性应变； $\beta=1$  表示随动强化， $\beta=0$  表示等向强化。将公式画成不同应变率下的应力-应变曲线能直观地表现出该模型的实质（见图 3-109）。

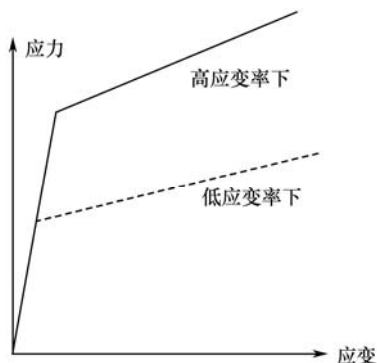


图 3-109 Cowper-Symonds 模型

### 【案例 3-8】建立 Cowper-Symonds 材料模型

建立一个 Cowper-Symonds 材料模型。材料的密度为  $\rho=7900\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量  $E=2\times 10^{11}\text{Pa}$ ，切线模量  $E_p=2\times 10^8\text{Pa}$ ，初始屈服应力  $\sigma_Y=2\times 10^8\text{Pa}$ ，泊松比  $\lambda=0.3$ 。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 3-110）。单击该窗口右侧方框中的“LS-DYNA”，继续单击“Nonlinear”→“Inelastic”→“Kinematic Hardening”→“Bilinear Kinematic”，弹出“Plastic Kinematic Properties for ...”窗口（见图 3-111）。

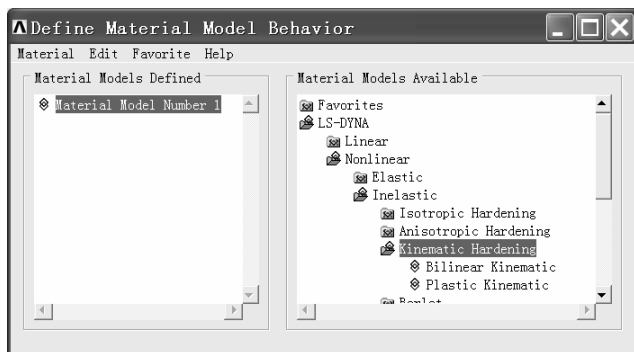


图 3-110 “Define Material Model Behavior”窗口

(4) 在“Plastic Kinematic Properties for...”窗口中的方框内从上到下依次填入“7900”、“ $2e11$ ”、“0.3”、“ $2e8$ ”、“ $2e8$ ”、“1”、“40”、“5”、“0.7”（见图 3-111）。其中“Failure Strain”后的方框内输入“0.7”表示材料的失效应变。单元达到该失效应变后将自动消失。如果不设置此失效应变，则材料不会失效。然后单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口，单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

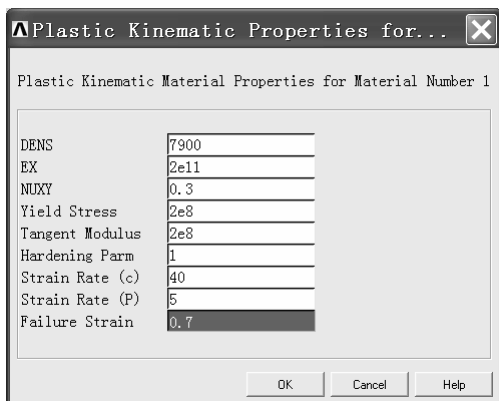


图 3-111 “Plastic Kinematic Properties for...” 窗口

### 3.5 单元的大小控制

ANSYS LS-DYNA 中提供了自动设置单元大小的工具，也提供了人工控制单元形状大小的方法。为了得到高质量的单元，建议读者使用人工控制单元大小的方法。同时单元的大小还必须根据实际情况来确定。单元大小适当既可保证计算结果的可靠，又能节省计算资源。

下面首先介绍不同工况下单元大小设置的一般要求及要点。

通常情况下，在结构的撞击区，单元设置应当较细密；而在结构变形小的地方，单元设置可以适当大些。人们比较关心的部位应当使用较细密的单元，对分析结果影响不大的部位可以使用较大的单元。单元的各个边长应当比较接近，单元中两边的夹角不要过于尖锐。下面用几个具体例子来进一步说明，读者应当仔细体会其中的要点。

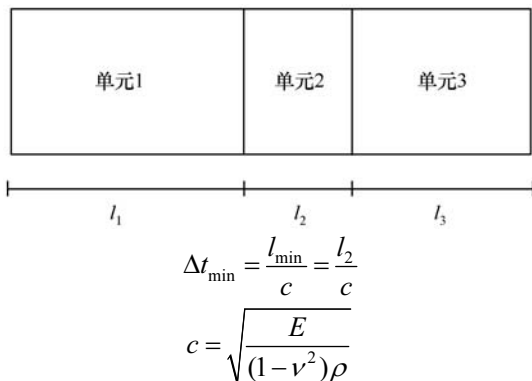
例如，给一根轴划分单元，轴的形状如图 3-112 所示。轴的中部受一物体的撞击。要求：计算物体对轴的撞击力。



图 3-112 轴的形状

对于本例题的情况，应当选择实体单元对轴划分网格。靠近撞击处的地方，网格设置应当尽量细密，这样可以得出较为准确的撞击力。图中轴的两端分别有一个倒角。在本工况中，建模时最好将倒角去掉。因为首先，倒角的存在几乎不影响撞击力；其次，去掉倒角可以简化建模；最后，若倒角的尺寸较小，给倒角划分网格时单元的尺寸将会很小，而模型中一旦出现个别尺寸特别小的单元，计算时间将大大增加。

当使用相同计算机时，分析计算一个模型所使用的时间主要取决于两个因素，一个是单元（或节点）的多少，另一个是最小时间步长。而最小时间步长与单元大小密切相关。对于实体单元，最小时间步长由以下公式确定：



式中,  $l_{\min}$  为单元的最小边长;  $E$  为杨氏模量;  $\nu$  为泊松比;  $\rho$  为密度。由以上公式可知, 个别单元的尺寸较小将使得计算时间步长变小, 从而增加计算时间。对于时间步长这里做进一步说明。例如: 计算分析汽车碰撞后 2s 内撞击力随时间的变化。如果最小时间步长为  $10^{-6}$ s, 则完成整个计算需要  $2/10^{-6}=2\times 10^6$  步; 如果最小时间步长为  $10^{-5}$ s, 则完成整个计算只需  $2\times 10^5$  步。

如图 3-113 所示为模拟方管轴向压溃的过程, 金属方管在轴向压力的作用下, 被压成褶皱。为了较好地模拟褶皱的形状, 单元的长度必须要比一个褶皱的波长短得多。要得到较为真实的变形, 以及得到较为准确的压缩力, 单元必须要有较小的尺寸。通常, 变形较大的地方必须使用更为精细的网格。

给曲面或弯曲的部位 (特别是这些地方存在着接触) 划分单元时, 需要较为精细的网格。如图 3-114 所示, 作者使用了不同大小的单元给扇形面划分单元。很明显, 使用精细网格生成的有限元模型可以较为准确地反映出原实物模型的几何形状; 而使用粗糙网格生成的有限元模型很大程度上背离了原实物模型的几何形状。因为单元的边为直边 (LS-DYNA 中实体单元和板壳单元都为直边), 需要用较多的单元才能近似地划分出弯曲的轮廓。

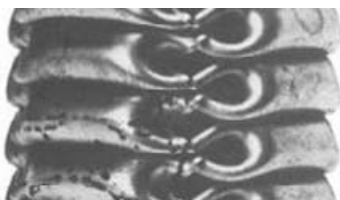


图 3-113 金属方管被压成褶皱

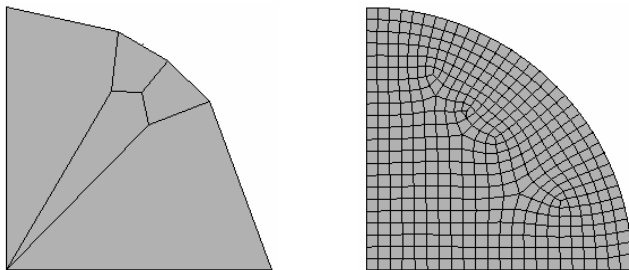


图 3-114 不同单元尺寸下生成的网格

控制单元大小的命令集中显示在 “MeshTool” 窗口上 (打开路径为 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool)。以下是经常用到的三个命令 (见图 3-115):

(1) Smart Size: 该命令用于自动确定单元的大小。选中 “Smart Size”, 然后拖动下边的水平滚动按钮, 滚动条下面的数值会发生变化, 数值越小, 单元越小。

(2) Areas: 该命令可以设置单元的边长。

(3) Lines: 该命令可以将模型的边界 “分割” 为特定的长度, 此长度即为模型边界上单元的边长。

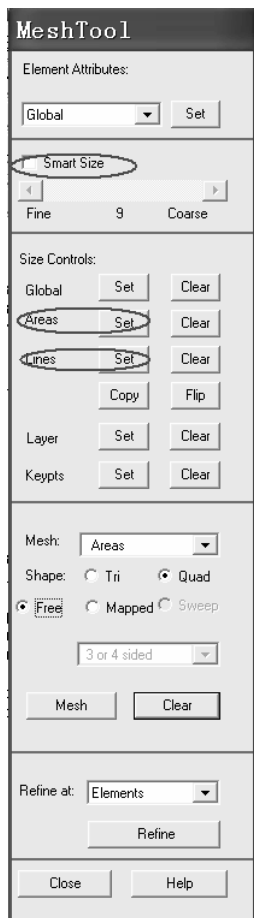


图 3-115 “MeshTool”窗口

## 3.6 自由划分与映射单元

ANSYS LS-DYNA 中提供了自由划分（或自由网格）与映射单元（或映射网格）。使用自由网格（Free）时，程序自动生成模型的网格。使用映射网格（Mapped）时，使用者可以根据需要控制模型中各部位的单元形状和尺寸。自由网格可以对各种形状模型划分网格，但它常使用到三角形单元或四面体单元。建议读者尽量使用映射网格。

下面首先介绍自由网格划分。自由网格划分一般对实物模型没有几何形状的要求，而映射网格划分通常对实物模型的形状有较为严格的要求，只有部分形状的模型才能使用映射网格：六面体、四边形、三角形、扇形等。

## 3.7 单元的删除

在 ANSYS LS-DYNA 中，要对单元重新划分网格或是删除模型必须首先删除该模型上已经生成的网格。同时，使用网格加密命令可以对已完成网格划分的模型进行网格加密



(或网格细分) 处理。下面用一个实例演示单元的删除与网格加密。

### 【案例 3-9】 编辑三角形面上的网格

给一个三角形面划分网格，然后删除单元，重新划分网格，并加密一个顶点附件的网格。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete，弹出“Element Types”窗口。单击该窗口上的“Add”按钮，弹出“Library of Element Types”窗口，单击选中“Library of Element Types”窗口中右方框内的“Thin Shell 163”，然后单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口。单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants，弹出“Real Constants”窗口。单击“Add”按钮，弹出“Element Type f...”窗口。用鼠标左键单击“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 1 SHELL163”，然后单击“OK”按钮，弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口，然后单击“OK”按钮，弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口。

(5) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“Thickness at node 1 T1”后的方框中输入“0.01”，然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。单击“Close”按钮，关闭“Real Constants”窗口。

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS，弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口。在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次输入“0”、“0”、“0”，单击“Apply”按钮。继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次输入“0.1”、“0”、“0”，单击“Apply”按钮。再次在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次输入“0.05”、“0.1”、“0”，然后单击“OK”按钮。

(7) 单击视图工具条中的“Fit View”按钮（见图 3-116），图中显示出所建的三个关键点（见图 3-117）。



图 3-116 视图工具条

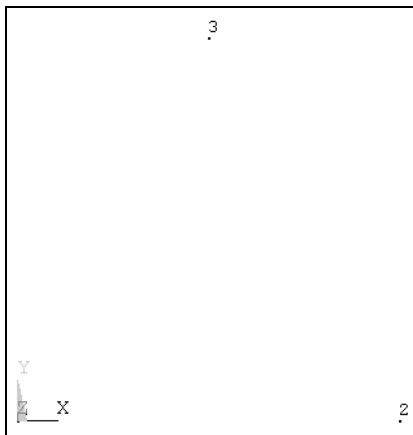


图 3-117 三个关键点

(8) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>Through KPs, 弹出“Create Are...”窗口。依次单击关键点 1、2、3, 然后单击“Create Are...”窗口中的“OK”按钮, 生成一个三角形面。将鼠标指向三角形面, 然后稍微滚动一下鼠标中键, 三角形面消失。依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 三角形面重新显示。

(9) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口, 直接单击“Mesh”按钮, 弹出“Mesh Areas”窗口, 单击该窗口上的“Pick All”按钮, 完成网格划分(见图 3-118)。

(10) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口, 单击“Clear”按钮(见图 3-119), 弹出“Clear Areas”窗口(3-120)。单击“Pick All”按钮, 图形界面中的单元消失。

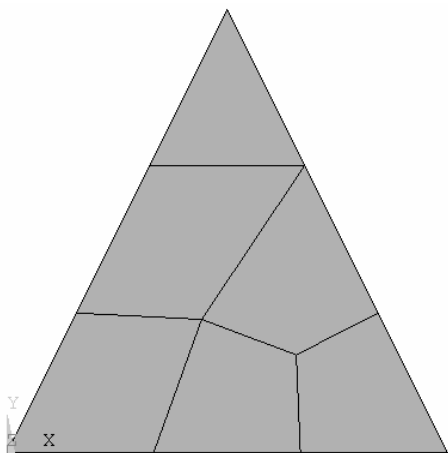


图 3-118 划分网格后的三角形面板

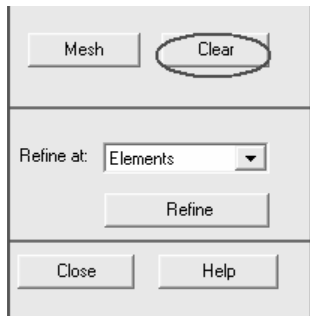


图 3-119 “MeshTool”窗口

(11) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 三角形重新出现。

(12) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口。单击“MeshTool”窗口中“Areas”后面的“Set”按钮(见图 3-121), 弹出“Elem Size...”窗口(见图 3-122)。单击三角形面, 然后单击“Elem Size”窗口中的“OK”按钮, 弹出“Element Size at Picked Areas”窗口(见图 3-123)。在该窗口中“Element edge length”后的方框内输入“0.01”, 然后单击“OK”按钮。以上设置规定单元的边长为 0.01。

(13) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口。单击“MeshTool”窗口中的“Mesh”按钮, 弹出“Mesh Areas”窗口, 单击“Pick All”按钮完成网格的划分(见图 3-124)。

(14) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口。在“MeshTool”窗口中“Refine at:”后的方框中选择“Elements”, 然后单击“Refine”按钮, 弹出“Refine mes...”窗口(见图 3-125)。单击选中三角形上顶点处的那个单元(见图 3-126), 然后单击“Refine mes...”窗口中的“OK”按钮, 弹出“Refine Mesh at Element”窗口(见图 3-127)。在该窗口“Level of refinement”后的方框中选择“1 (Minimal)”(数字越小, 加密后的单元尺寸也越小), 然后单击“OK”按钮完成网格细分(见图 3-128)。

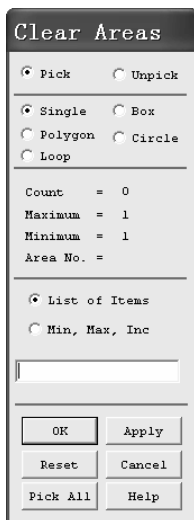


图 3-120 “Clear Areas” 窗口

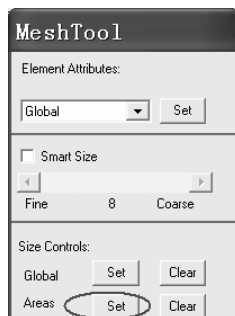


图 3-121 “MeshTool” 窗口

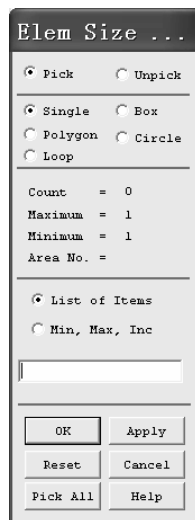


图 3-122 “Elem Size ...” 窗口



图 3-123 “Element Size at Picked Areas” 窗口

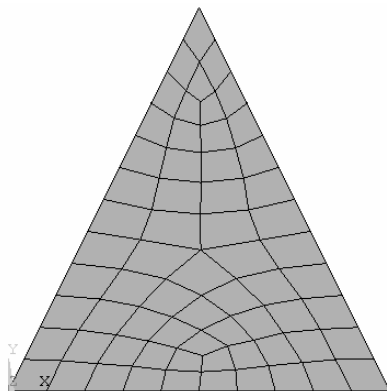


图 3-124 三角形面的网格

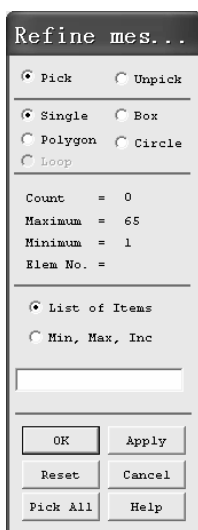


图 3-125 “Refine mes...” 窗口

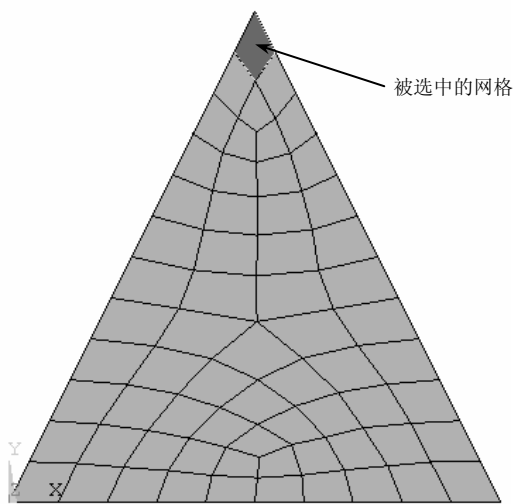


图 3-126 三角形板顶点处的单元被选中

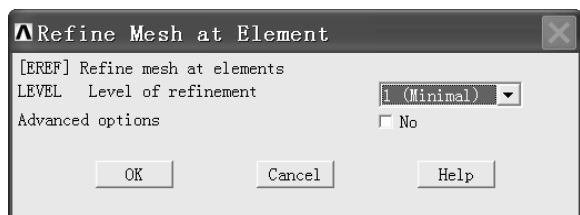


图 3-127 “Refine Mesh at Element” 窗口

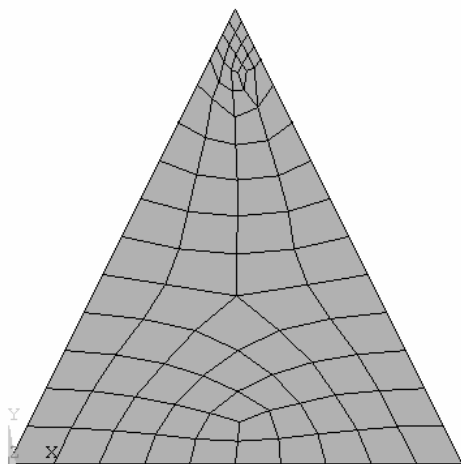


图 3-128 单元加密后的三角形板

## 3.8 离散单元的设置

LS-DYNA 中常用到的离散单元有质量单元（包括转动惯量）和弹簧阻尼单元。质量单元可以方便地模拟集中质量和转动惯量。质量单元可以单独地模拟质量，也可以单独地模拟转动惯量。弹簧阻尼单元非常适合模拟耗能缓冲构件。弹簧可以是线性的也可以是非线性的。使用离散单元耗用的计算资源很少，恰如其分地使用离散单元还可以极大地方便建模。关于质量单元的设置过程，可以参见本章 3.1.3 节“其他单元”。

## 3.9 工程实例 1——金属物体坠落的碰撞问题

本例题将构造一个较为复杂的模型，并对其划分网格。这个例题主要用于演示如何划分高质量的单元。要获得较好的网格，必须从建模的一开始就做好整体规划。模型建立得好，单元划分便容易了。

问题描述：一个圆柱形的金属杯倾斜地砸在一块钢板上。金属杯板厚为 0.001m，倾斜角度为  $45^\circ$ ，钢板长宽都为 0.2m，钢板厚为 0.01m。

(1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将背景变为白色。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete，弹出“Element Types”窗口。单击该窗口上的“Add”按钮，弹出“Library of Element Types”窗口，单击选中“Library of Element Types”窗口中右边方框内的“Thin Shell 163”，然后单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口。单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants，弹出“Real Constants”窗口。单击“Add”按钮，弹出“Element Type f...”窗口。单击“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 1 SHELL163”，然后单击“OK”按钮，弹出“Real Constant Set Number

1, ...”窗口,然后单击“OK”按钮,弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口。

(5) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“Thickness at node 1 T1”后的方框中输入“0.001”,然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。单击“Add”按钮,弹出“Element Type f...”窗口。

(6) 单击“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 1 SHELL 163”,然后单击“OK”按钮,弹出“Real Constant Set Number 2, ...”窗口,然后单击“OK”按钮,弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 2, ...”窗口,在另一种形式的“Real Constant Set Number 2, ...”窗口中“Thickness at node 1 T1”后的方框内输入“0.01”,然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。单击“Close”按钮关闭该窗口。

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models,弹出“Define Material Model Behavior”窗口(见图 3-129)。单击该窗口右侧方框中的“LS-DYNA”,继续单击“Nonlinear”→“Inelastic”→“Isotropic Hardening”→“Bilinear Isotropic”,弹出“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口(见图 3-130)。

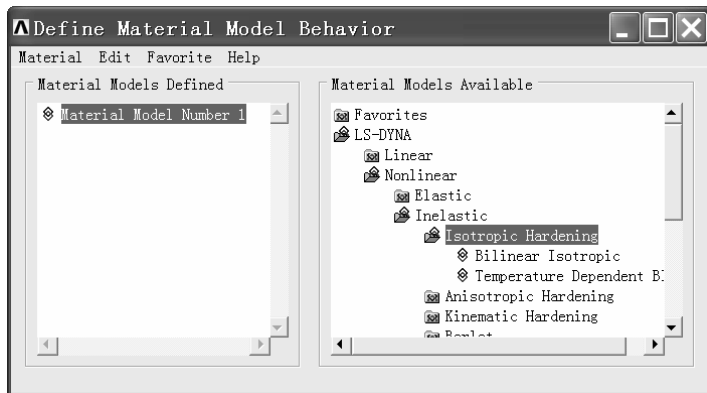


图 3-129 “Define Material Model Behavior”窗口

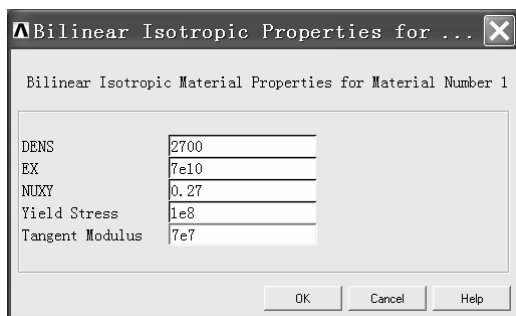


图 3-130 Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口

(8) 在“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口“DENS”后的方框中输入“2700”,在“EX”后的方框中输入“7e10”,在“NUXY”后的方框中输入“0.27”,在“Yield Stress”后的方框中输入“1e8”,在“Tangent Modulus”后的方框中输入“7e7”。以上输入依次表示材料的密度、杨氏模量、泊松比、屈服应力、切线模量。然后单击“OK”按钮返

回到“Define Material Model Behavior”窗口，单击该窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(9) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoints>In Active CS，弹出“Create Keypoints in Active Coordinate System”窗口，在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次输入“0”、“0”、“0”，单击“Apply”按钮。继续在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次输入“0.1”、“0.1”、“0”，单击“Apply”按钮。依次在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中输入“0.05”、“-0.05”、“0”，然后单击“Apply”按钮。再在“X, Y, Z Location in active CS”后的三个方框中依次输入“0.15”、“0.05”、“0”，然后单击“OK”按钮，图形界面中出现四个关键点（见图 3-131）。

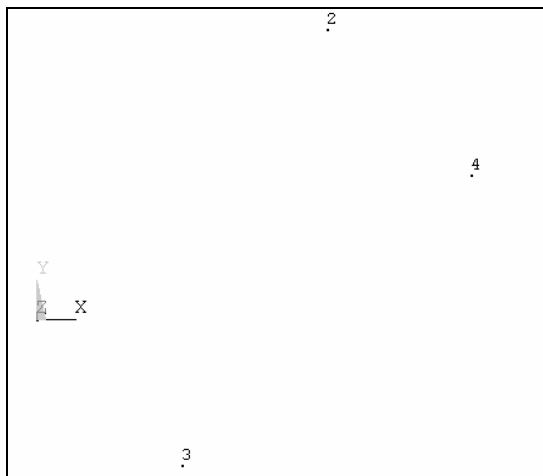


图 3-131 四个关键点

(10) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Lines>Straight Line，弹出“Create Str...”窗口。依次单击关键点 1（位于坐标系原点处）、关键点 3、关键点 3（注意这里的确是第二次单击关键点 3，不是笔误）、关键点 4，然后单击“OK”按钮。以上建立了两条线段（见图 3-132），它们是金属杯的母线。

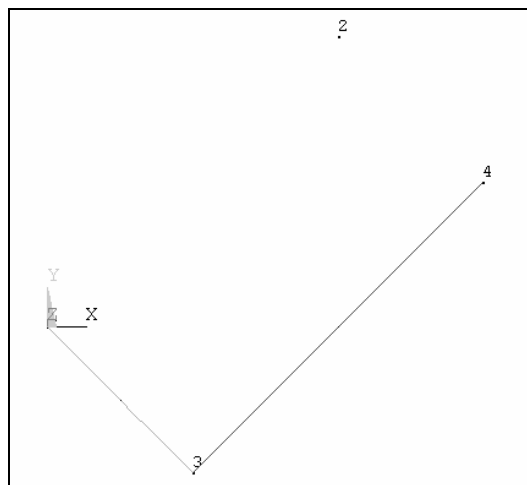


图 3-132 金属杯的母线

(11) 将鼠标指向图形界面，然后滚动鼠标中键，两条线消失。执行 **Utility Menu>Plot>Lines**，两条线重新出现。执行 **Utility Menu>PlotCtrls>Numbering...**，弹出“Plot Numbering Controls”窗口。选中该窗口中的“KP Keypoint numbers”选项（即在对应的选择框内打勾）。然后单击“OK”按钮，关键点的编号重新出现。单击视图工具条中的“Fit View”按钮（见图 3-133），视图界面中的图形以最佳尺寸显示。

(12) 依次选择 **Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Extrude>Lines>About Axis**，弹出“Sweep Line...”窗口。依次单击选中建立的两条线段，再单击“OK”按钮，重新出现“Sweep Line”窗口。依次单击选中关键点 1 和关键点 2（其实，这两个关键点确定了金属杯的轴线，关键点 2 可能没出现在图形界面中，在靠近关键点 2 的位置单击左键也能选中关键点 2），然后单击“OK”按钮，弹出“Sweep Lines about Axis”窗口（见图 3-134），然后单击“OK”按钮，金属杯模型生成（见图 3-135）。

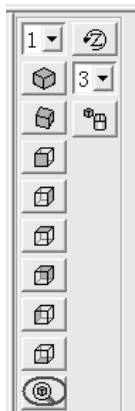


图 3-133 视图工具条

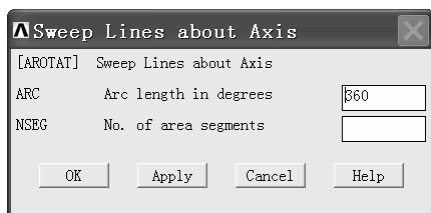


图 3-134 “Sweep Lines about Axis” 窗口

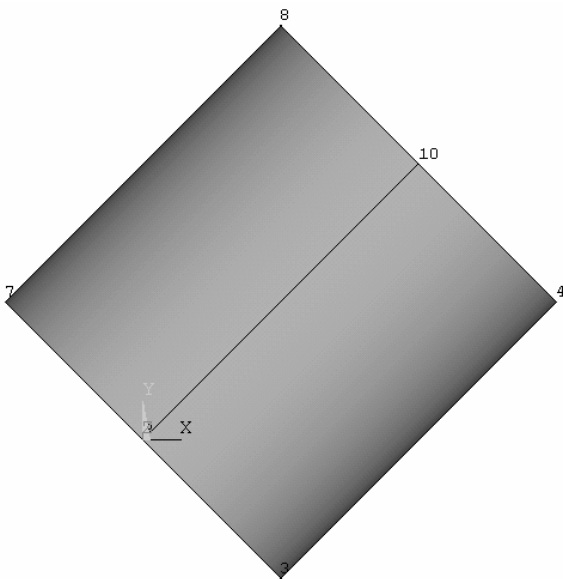


图 3-135 金属杯模型

(13) 单击视图工具条上的“Isometric View”按钮，将视图变为轴测图。

(14) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas，弹出“Glue Areas”窗口，单击“Pick All”按钮，将所有的面胶结在一起（其实，执行胶结命令前，杯的底面和侧面已经连为一体，因此不执行这里的胶结命令也行。以后，当不能确定各物体是否连在一起时，为了保险起见最好执行一下胶结命令）。

(15) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions，弹出“Create Block by Dimensions”窗口。在“X-coordinates”后输入“-0.05”、“0.15”；在“Y-coordinates”后输入“-0.07”、“-0.22”；在“Z-coordinates”后输入“-0.1”、“0.1”。然后单击“OK”按钮，六面体出现，同时金属杯的面消失了（见图 3-136）。

(16) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volumes Only，弹出“Delete Vol...”窗口。单击选中六面体，然后单击“OK”按钮，体被删除。执行 Utility Menu>Plot>Areas，金属杯的面与六面体的面都出现。

(17) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Areas and Below，弹出“Delete Are...”窗口，单击选中六面体的底面和四个侧面，然后单击“OK”按钮，得到我们想要的模型（见图 3-137）。

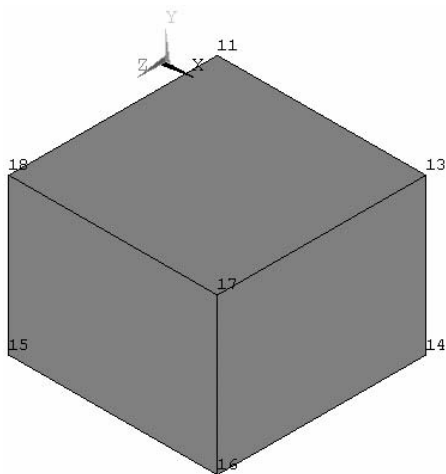


图 3-136 出现六面体

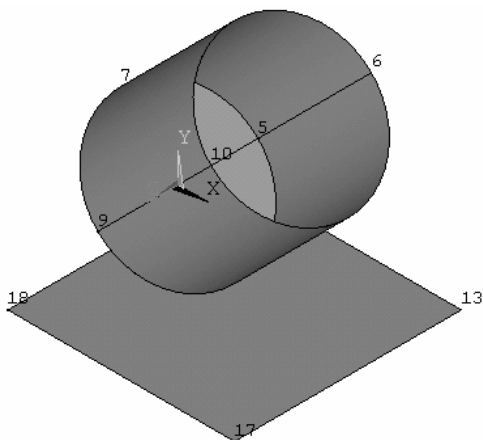


图 3-137 金属杯和板的模型

(18) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口。单击“Element Attributes:”下方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口。在该窗口的前三个方框中分别选择（从上到下）“1 SHELL163”、“1”、“1”，然后单击“OK”按钮。

(19) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口。单击“Areas”后的“Set”按钮，弹出“Elem Size”窗口，单击“Pick All”按钮，弹出“Element Size at Picked Areas”窗口，在该窗口的输入框中输入“0.005”，即预设单元的边长为 0.005，然后单击“OK”按钮。执行 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口。选择“Shape:”下的“Mapped”，然后单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Areas”窗口，选中该窗口上的“Box”（见图 3-138），再单击视图工具条的“Front



View”按钮（见图 3-139），将图形界面转换为正视图。如图 3-140 所示，将鼠标左键指向视图的左上角，然后按住左键不放，拖动鼠标使整个金属杯被框选（注意没有选到下边的钢板），然后单击“OK”按钮，金属杯网格划分完成（见图 3-141）。

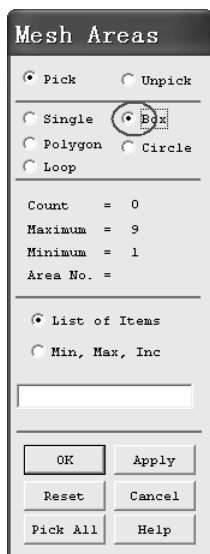


图 3-138 “Mesh Areas”窗口



图 3-139 视图工具条

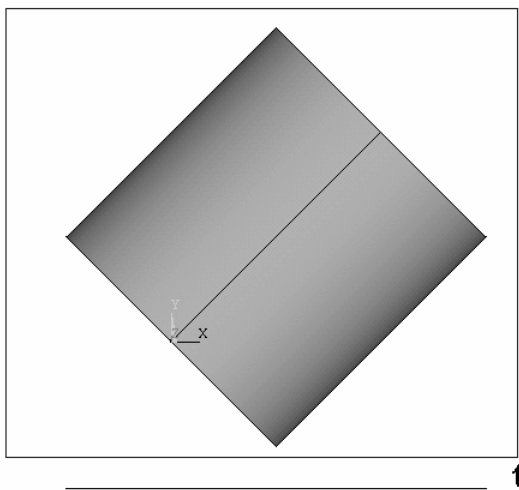


图 3-140 金属杯被框选

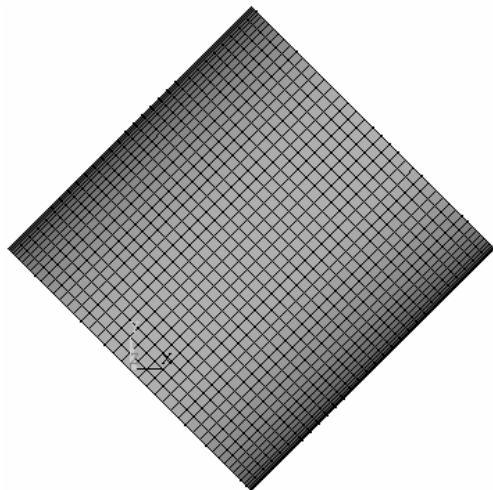


图 3-141 划分单元后的金属杯

(20) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口。单击“Element Attributes:”下方框后的“Set”按钮，弹出“Meshing Attributes”窗口。在该窗口的前三个方框中分别选择（从上到下）“1 SHELL163”、“1”、“2”，然后单击“OK”按钮。

(21) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas，重新显示所有面。单击视图工具条中的“Isometric View”，将视图转换为轴测图。执行 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口。单击窗口中“Areas”后的“Set”按钮，弹出“Elem Size”窗口。单

击“Pick All”按钮，弹出“Element Size at Picked Areas”窗口，在该窗口的输入框中输入“0.05”。然后单击“OK”按钮。平板较厚，变形小，可以使用较大的单元，且单元较大时，不影响平板的几何形状，这与曲面不同。执行 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口，单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Areas”窗口，单击选中方板，然后单击“OK”按钮，单元划分完成（见图 3-142）。

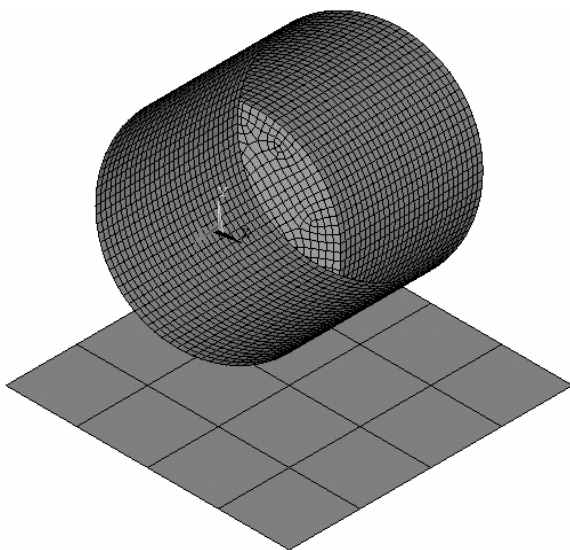


图 3-142 划分单元后的模型

### 3.10 工程实例 2——复杂物体的网格划分

本实例演示如何给较为复杂的实体模型划分单元。需要划分单元的实体模型如图 3-143 所示。为了使用映射网格，首先将实体模型拆分为若干简单的图形元素。

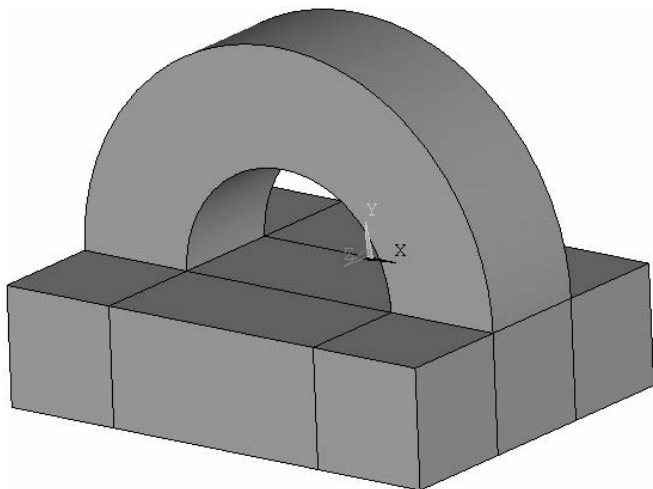


图 3-143 需要划分单元的实体模型

- (1) 打开 ANSYS LS-DYNA 操作界面。
- (2) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将背景变为白色。
- (3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口。单击该窗口上的“Add”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口。单击选中“Library of Element Types”窗口中右方框内的“3D Solid 164”, 然后单击“OK”按钮返回到“Element Types”窗口, 最后单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。
- (4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>By Dimensions, 弹出“Create Cylinder by Dimensions”窗口(见图 3-144)。如图 3-144 所示, 在相应方框内输入数据, 然后单击“OK”按钮, 生成半个圆环, 单击视图工具条上的“Isometric View”按钮, 生成轴测图, 见图 3-145 按钮。

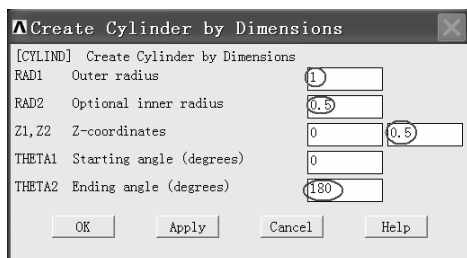


图 3-144 “Create Cylinder by Dimensions”窗口

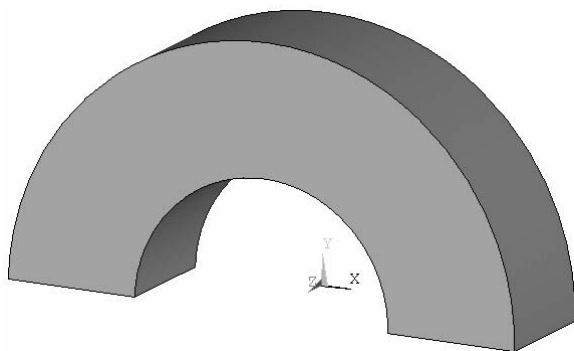


图 3-145 半个圆环

- (5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口(见图 3-146)。按图 3-146 所示在各个数据框内输入相应数据, 然后单击“OK”按钮生成第一个方块(见图 3-147)。

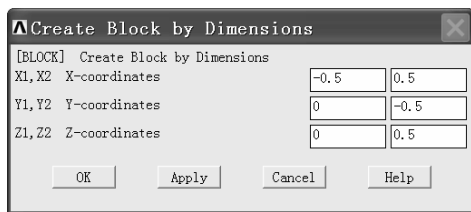


图 3-146 “Create Block by Dimensions”窗口

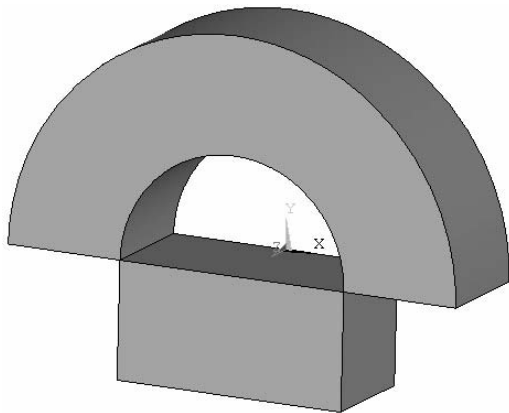


图 3-147 生成第一个方块

- (6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出“Create Block by Dimensions”窗口。按图 3-148 所示在各个数据框内输入相应数据, 然后单击“Apply”按钮生成第二个方块。按照图 3-149 所示继续在各个数据框中输入数

据, 然后单击“OK”按钮生成第三个方块(见图 3-150)。

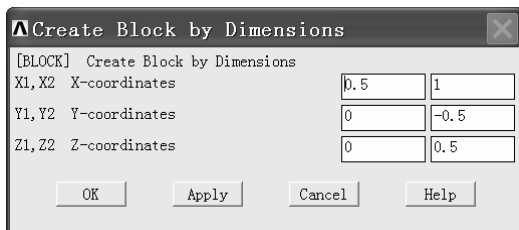


图 3-148 “Create Block by Dimensions”窗口

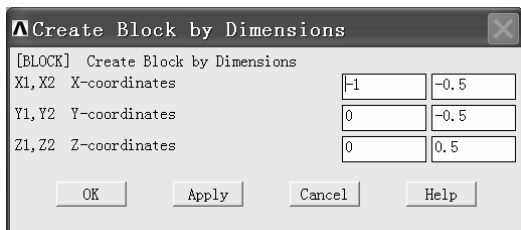


图 3-149 “Create Block by Dimensions”窗口

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes, 弹出“Copy Volumes”窗口, 单击选中所建立的三个方块(见图 3-151), 然后单击“OK”按钮, 弹出“Copy Volumes”窗口, 在“Copy Volumes”窗口中“Z-offset in active CS”后的方框中输入“-0.5”, 然后单击“OK”按钮, 再新生成三个方块(见图 3-152)。

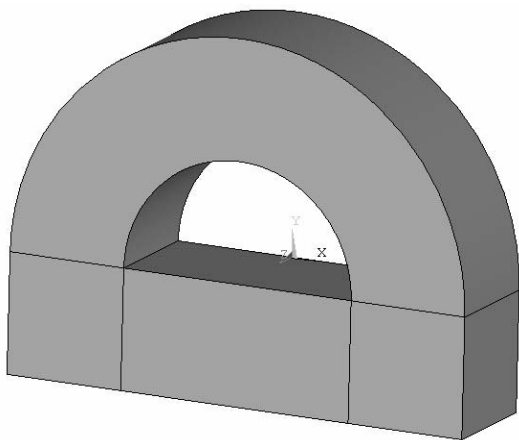


图 3-150 生成第三个方块后的模型

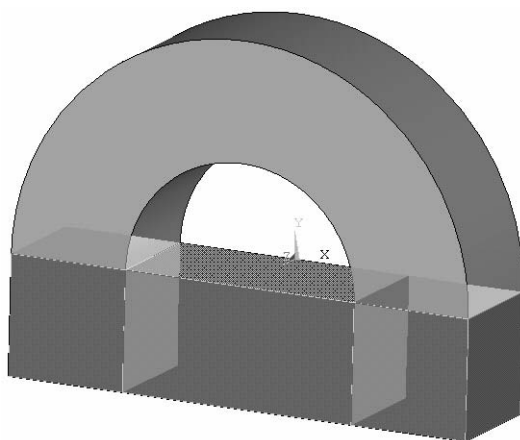


图 3-151 三个方块被选中

(8) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes, 弹出“Copy Volumes”窗口, 单击选中最初生成的三个方块(见图 3-153), 然后单击“OK”按钮, 弹出“Copy Volumes”窗口。在“Copy Volumes”窗口中“Z-offset in active CS”后的方框中输入“0.5”, 然后单击“OK”按钮又生成三个方块(见图 3-154)。

(9) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volumes, 弹出“Glue Volumes”窗口。单击“Pick All”按钮, 模型首先被分块建成, 这里用“Glue”命令将分块结合在一起。

(10) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 弹出“Define Material Model Behavior”窗口, 单击该窗口右边的“LS-DYNA”, 继续单击“Linear”→“Elastic”→“Isotropic”, 弹出“Linear Isotropic Properties for ...”窗口。按照图 3-155 所示在该窗口的输入框内分别输入数据, 然后单击“OK”按钮返回到“Define Material Model Behavior”窗口。单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

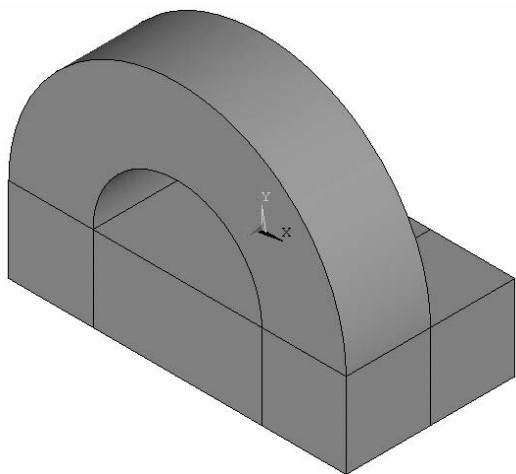


图 3-152 由复制生成三个方块后的模型

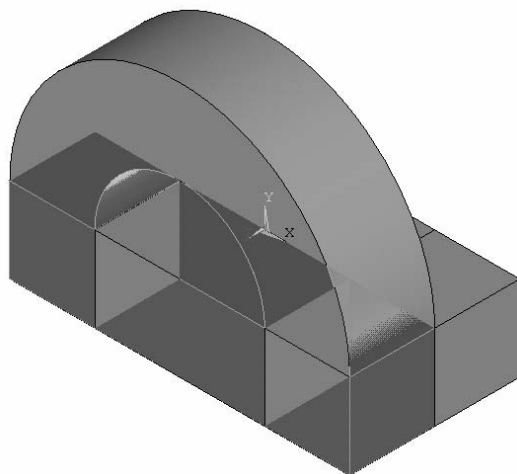


图 3-153 选中最初生成的三个方块

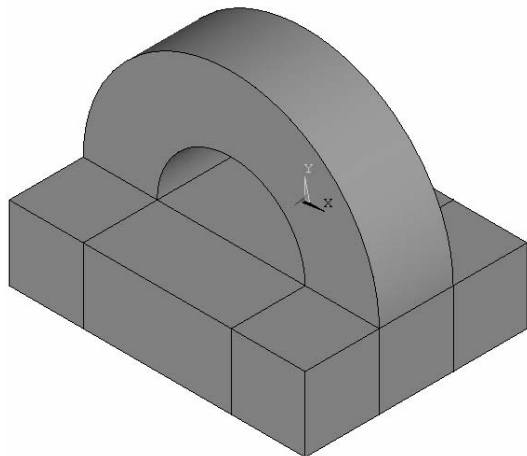


图 3-154 建立完整模型

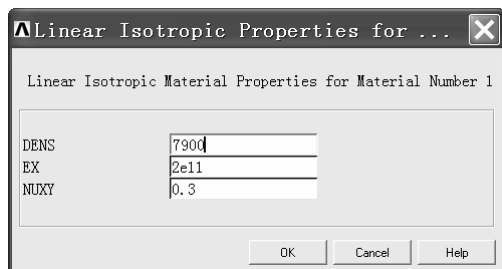


图 3-155 “Linear Isotropic Properties for ...” 窗口

(11) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口, 单击“Lines”后的“Set”按钮, 弹出“Element Si...”窗口, 单击“Pick All”按钮, 弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口。在“Element edge length”后的方框中输入“0.1”, 然后单击“OK”按钮。

(12) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口, 单击“Mesh”按钮, 弹出“Mesh Volumes”窗口, 单击“Pick All”按钮, 单元划分完成(见图 3-156)。

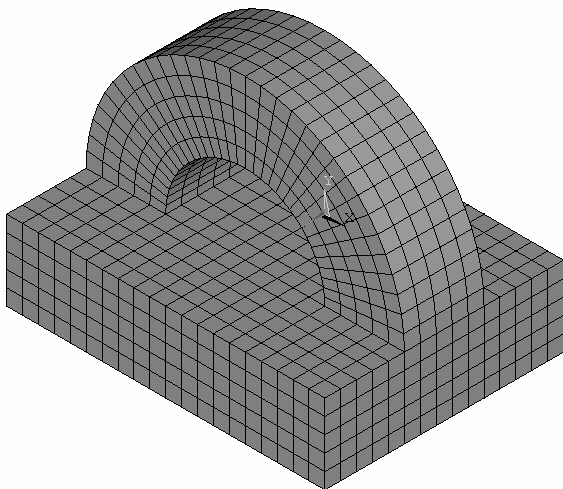


图 3-156 单元划分完成

### 3.11 工程实例 3——管道受横向撞击时的变形过程

本例题模拟了管道受横向撞击时的变形过程。例题中同时使用了板壳单元和体单元。本实例从打开前处理操作界面开始到生成 K 文件结束, 完整地演示了整个前处理过程。



**起始文件**——附带光盘“Ch3\cylinder\_impact.db”



**结果文件**——附带光盘“Ch3\cylinder\_impact.k”



**动画演示**——附带光盘“AVI\Ch3\cylinder\_impact.avi”

#### 【问题描述】

一根直径为 0.8m 的圆管, 两端固定, 圆管长 2m, 壁厚 0.01m。一个边长为 0.3m 的立方体, 以 10m/s 的速度垂直撞击在圆管的中部。圆管与立方体的材料相同, 且为双线性材料, 其杨氏模量为  $E=2.1 \times 10^{11} \text{Pa}$ , 切线模量为  $E_{\text{tan}}=2 \times 10^9 \text{Pa}$ , 泊松比  $\lambda=0.3$ , 密度为  $\rho=7850 \text{kg/m}^3$ , 屈服应力  $\sigma_Y=2 \times 10^8 \text{Pa}$ 。

要求: 观察撞击过程中圆管的变形情况。

#### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹, 出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标(见图 3-157)。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标, 弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口(见图 3-158)。

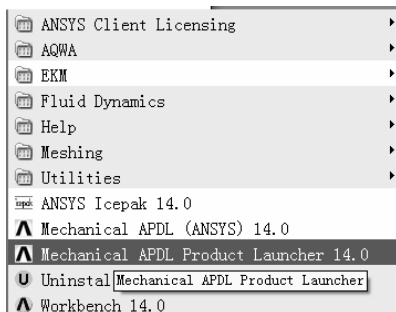


图 3-157 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标

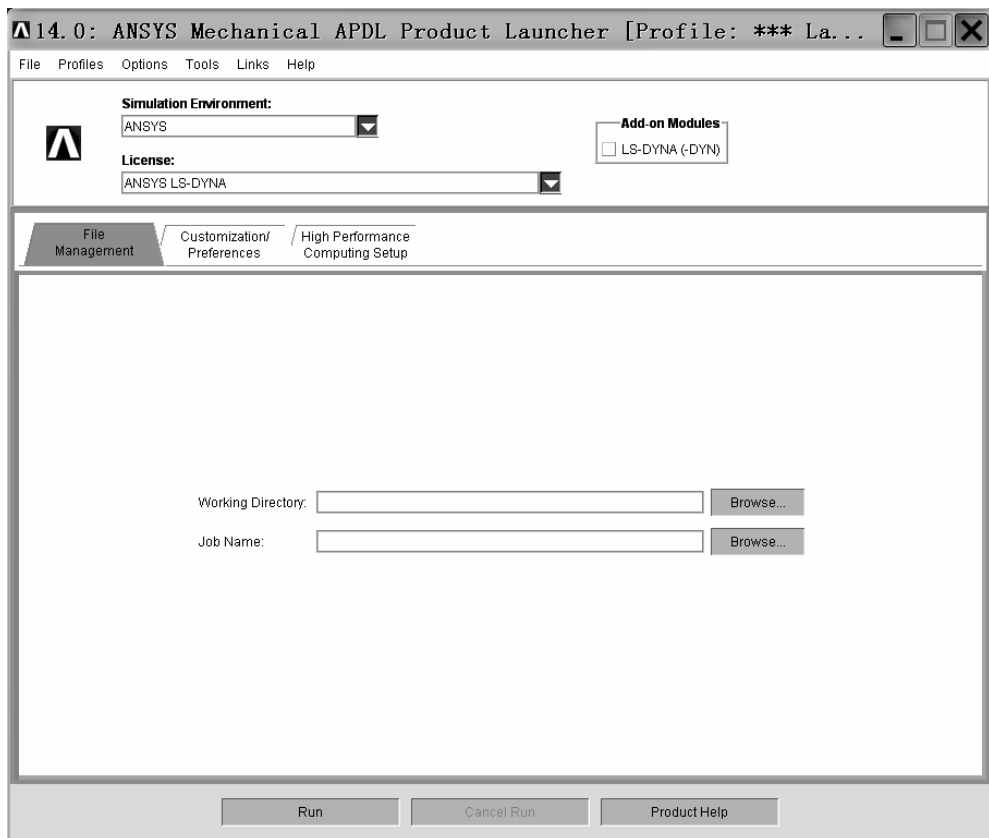


图 3-158 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(2) 单击 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中 “Simulation Environment:” 下方框后的倒立三角形图标, 选中 “ANSYS”。

(3) 单击 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中 “License:” 下方框后的倒立三角形图标, 选中 “ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中的 “Working Directory:” 方框内输入 “d:\cylinder\_impact”。

(5) 在 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中的 “Job Name:” 方框内输入 “cylinder\_impact”。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮,弹出“ANSYS Mechanical APDL Launcher Query”窗口(见图 3-159)。



图 3-159 “ANSYS Mechanical APDL Launcher Query”窗口

(7) 单击“ANSYS Mechanical APDL Launcher Query”窗口中的“Yes”按钮,弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面(见图 3-160)。

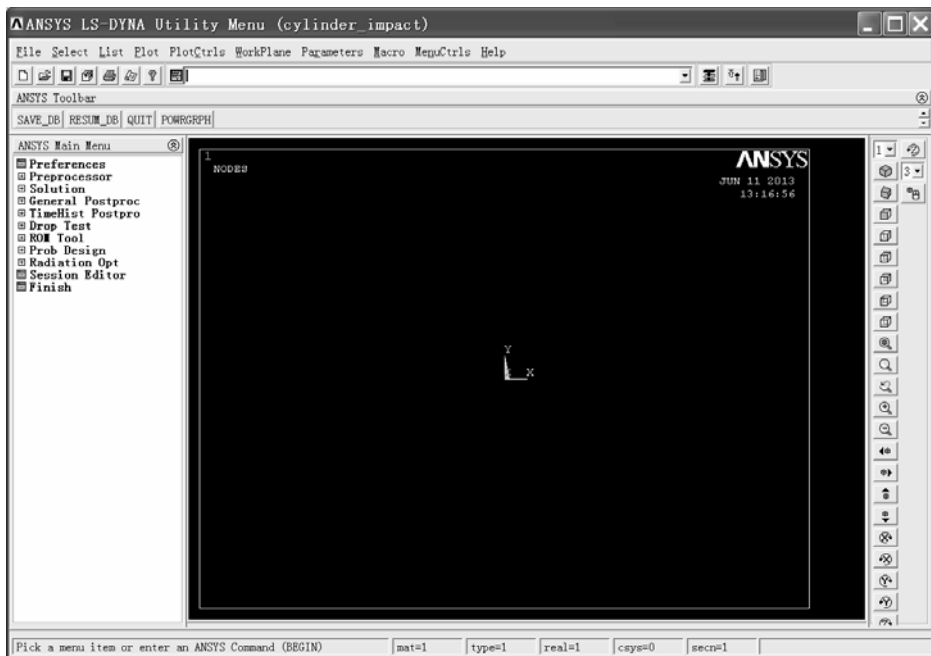


图 3-160 ANSYS LS-DYNA 操作界面

## 2. 设置单元

(1) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将图形窗口的背景变为白色(见图 3-161),以便后续操作中更清楚地观看视图。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 弹出“Element Types”窗口(见图 3-162)。

(3) 单击“Element Types”窗口中的“Add...”按钮,弹出“Library of Element Types”窗口(见图 3-163)。

(4) 在“Library of Element Types”窗口中的左方框中单击选中“LS-DYNA Explicit”,在右方框中单击选中“3D Solid 164”。



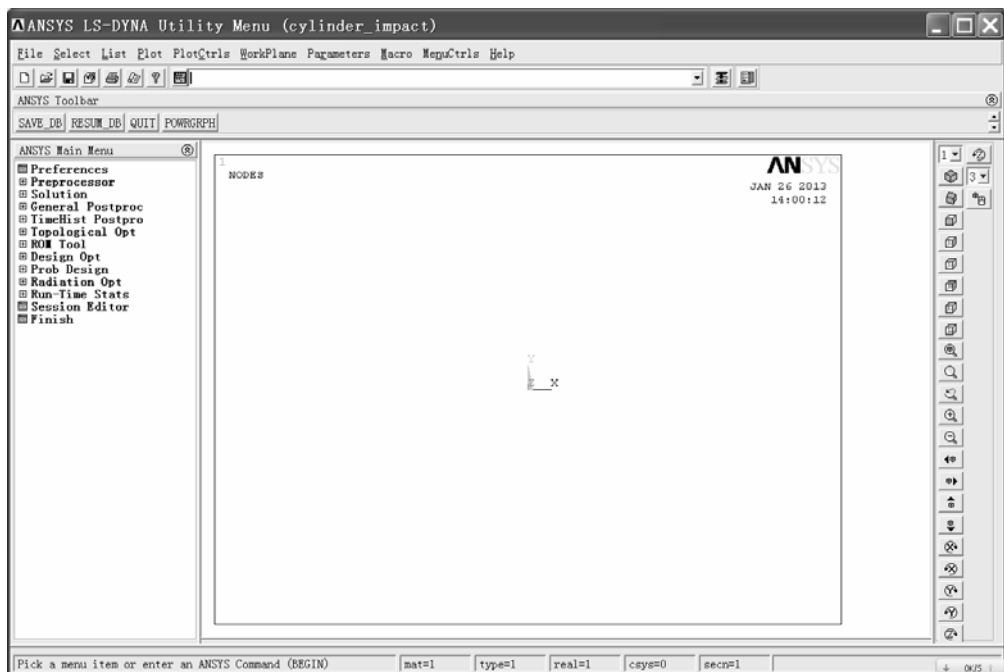


图 3-161 ANSYS LS-DYNA 操作界面

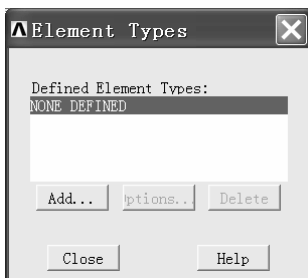


图 3-162 “Element Types” 窗口

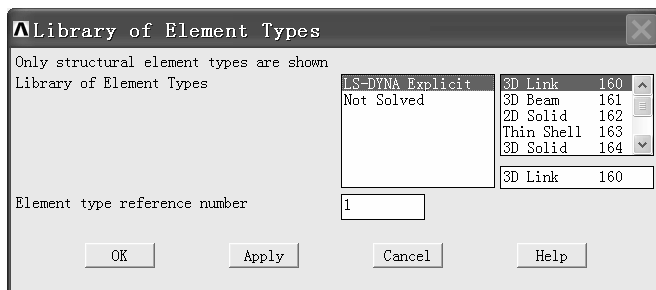


图 3-163 “Library of Element Types” 窗口

(5) 单击“Library of Element Types”窗口中的“Apply”按钮。

(6) 再在“Library of Element Types”窗口中的右方框中单击选中“Thin Shell 163”。

(7) 单击“Library of Element Types”窗口中的“OK”按钮。这时“Element Types”窗口中显示出已经选好的两种单元。

(8) 单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

### 3. 定义材料

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 出现“Define Material Model Behavior”窗口(见图 3-164)。

(2) 单击“Define Material Model Behavior”窗口中右方框中的“LS-DYNA”文件夹, 继续单击“Nonlinear”文件夹, 再单击“Inelastic”文件夹, 再单击“Isotropic Hardening”文件夹, 最后单击“Bilinear Isotropic”, 出现“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口(见图 3-165)。

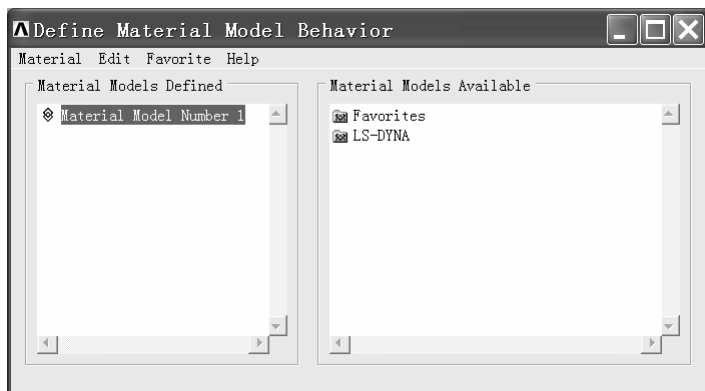


图 3-164 “Define Material Model Behavior” 窗口

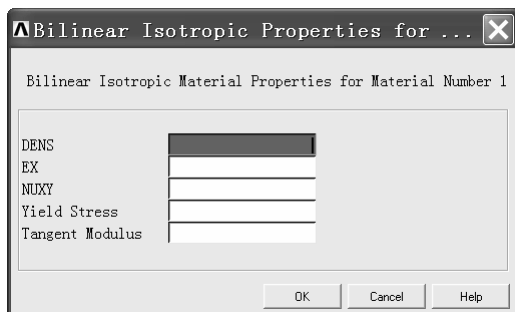


图 3-165 “Bilinear Isotropic Properties for ...” 窗口

(3) 在“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，在“EX”方框处写入“2.1e11”，在“NUXY”方框处写入“0.3”，在“Yield Stress”方框处写入“2e8”，在“Tangent Modulus”方框处写入“2e9”。以上输入表示材料的密度为  $7850\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2.1 \times 10^{11}\text{Pa}$ （注意 2.1e11 表示  $2.1 \times 10^{11}$ ），泊松比为 0.3，屈服应力为  $2 \times 10^8\text{Pa}$ ，切线模量为  $2 \times 10^9\text{Pa}$ 。

(4) 单击“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中的“OK”按钮。

(5) 单击“Define Material Model Behavior”窗口左上角处下拉菜单中的“Material”，再单击“New Model...”，出现“Define Materi...”窗口（见图 3-166）。

(6) 单击“Define Materi...”窗口中的“OK”按钮。

(7) 单击“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中的“Bilinear Isotropic”（打开“Bilinear Isotropic”的方法是单击“LS-DYNA”，再单击“Nonlinear”，再单击“Inelastic”，再单击“Isotropic Hardening”），出现“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口（见图 3-167）。

(8) 在“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，在“EX”方框处写入“2.1e11”，在“NUXY”方框处写入“0.3”，在“Yield Stress”方框后写入“2e8”，在“Tangent Modulus”方框后写入“2e9”。

(9) 单击“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中的“OK”按钮。

(10) 单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

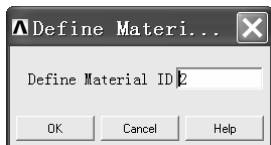


图 3-166 “Define Materi...” 窗口

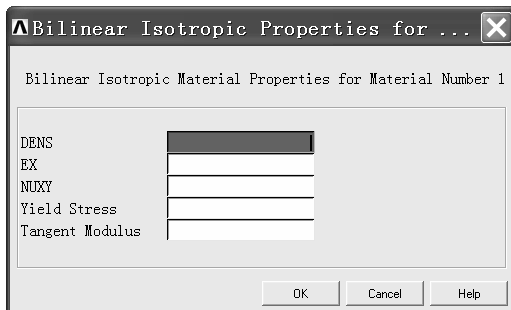


图 3-167 “Bilinear Isotropic Properties for ...” 窗口

#### 4. 建立几何模型

(1) 依次选择 Main Menu>Modeling>Create>Volumes>Block>By Dimensions, 弹出 “Create Block by Dimensions” 窗口 (见图 3-168)。

(2) 在 “Create Block by Dimensions” 窗口中输入数据: 在 “X1, X2 X-coordinates” 后输入 “-0.15”、“0.15”; 在 “Y1, Y2 Y-coordinates” 后输入 “0.5”、“0.8”; 在 “Z1, Z2 Z-coordinates” 后输入 “-0.15”、“0.15”, 然后单击 “OK” 按钮生成立方体, 并单击视图工具条中的 “Isometric View” 按钮, 将视图转为轴测图 (见图 3-169)。

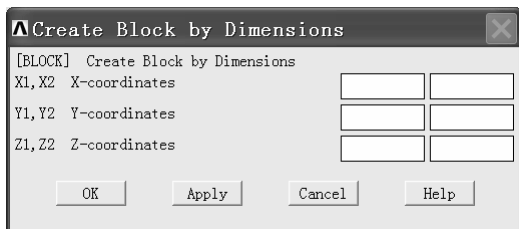


图 3-168 “Create Block by Dimensions” 窗口

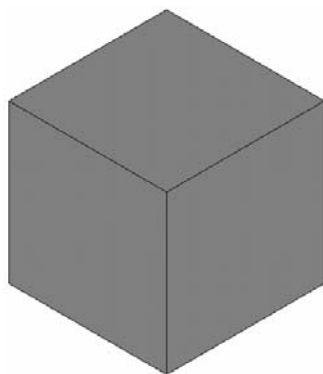


图 3-169 立方体

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>By Dimensions, 弹出 “Create Cylinder by Dimensions” 窗口。按照图 3-170 所示在该窗口中输入数据, 然后单击 “OK” 按钮生成一个圆柱体 (图 3-171)。

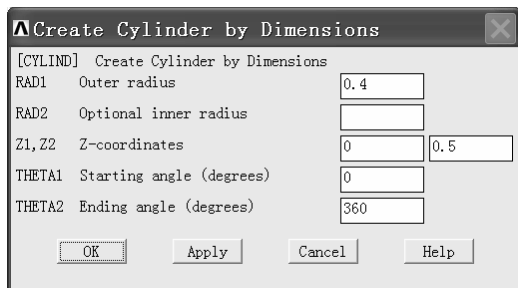


图 3-170 “Create Cylinder by Dimensions” 窗口

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Volumes Only, 弹出“Delete Vol...”窗口。单击选中圆柱体, 然后单击“OK”按钮。执行 Utility Menu>Plot>Areas。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Delete>Areas Only, 弹出“Delete Are...”窗口。单击选中圆柱体的两个底面, 然后单击“OK”按钮, 视图中还剩下一个圆筒和一个方块(见图 3-172)。

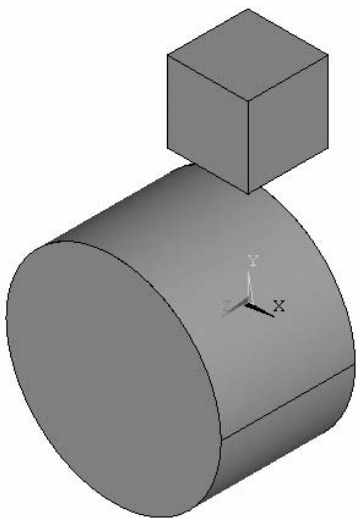


图 3-171 立方体和圆柱

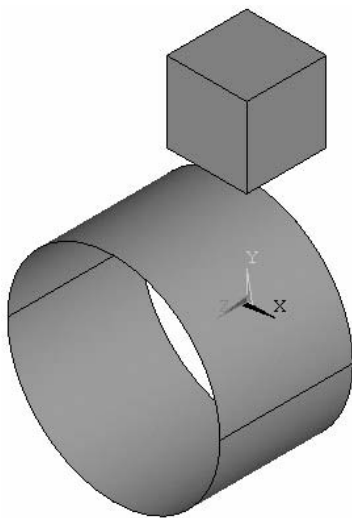


图 3-172 方块和圆筒

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Copy>Areas, 弹出“Copy Areas”窗口, 单击选中圆筒的两个弧面(见图 3-173), 然后单击“OK”按钮, 弹出“Copy Areas”窗口(见图 3-174)。在“Z-offset in active CS”后的方框中输入“0.5”, 然后单击“OK”按钮, 生成另一个圆筒(见图 3-175)。

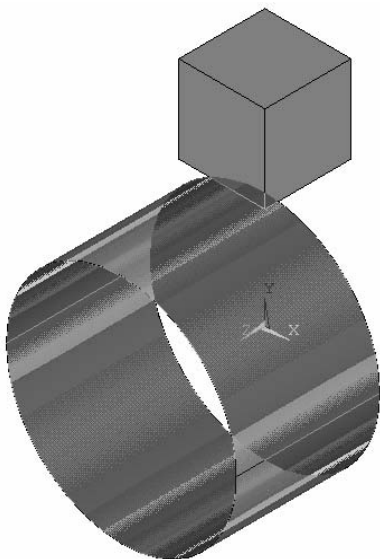


图 3-173 方块和圆筒

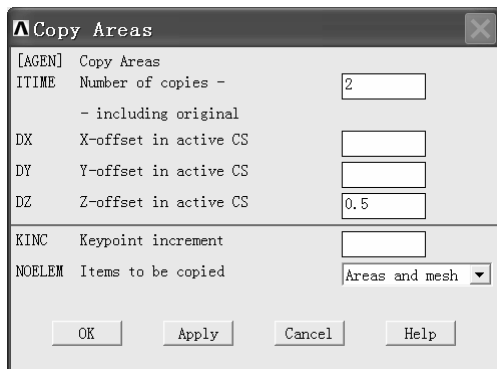


图 3-174 “Copy Areas”窗口

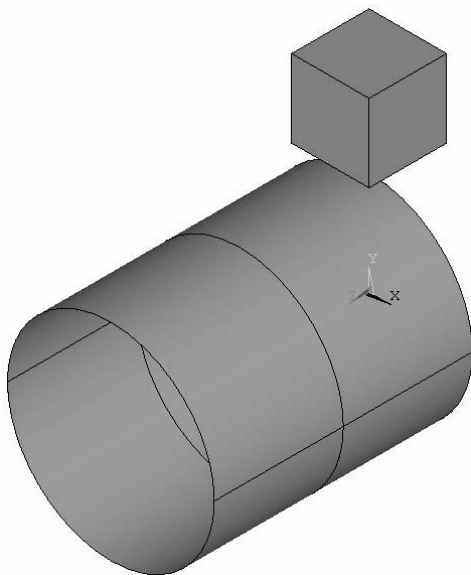


图 3-175 圆筒和方块

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Copy>Areas, 弹出“Copy Areas”窗口, 单击选中两个圆筒的四个弧面(见图 3-175), 此时“Copy Areas”窗口中出现“Count=4”(见图 3-176, 表示选中了四个面), 然后单击“OK”按钮, 弹出“Copy Areas”窗口(见图 3-174), 在“Z-offset in active CS”后的方框中输入“-1”, 然后单击“OK”按钮生成另外两个圆筒(见图 3-177)。

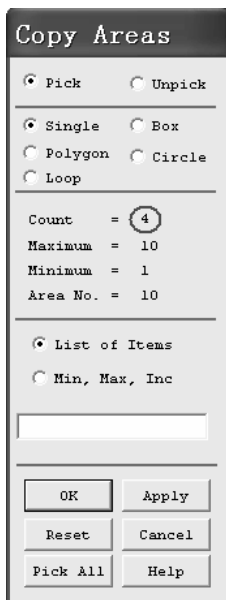


图 3-176 “Copy Areas”窗口

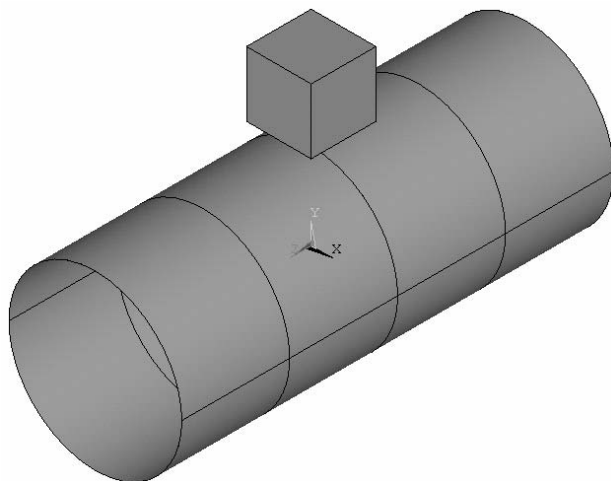


图 3-177 圆筒和方块

(8) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas, 弹出“Glue Areas”窗口, 单击“Pick All”按钮, 四个圆筒黏结在了一起。

(9) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants, 弹出“Real Constants”窗口, 单击“Add”按钮, 弹出“Element T...”窗口, 单击“OK”按钮, 弹出“Real Constant Set Number1, ...”窗口, 单击“OK”按钮, 弹出另一种形式的“Real Constant Set Number1, ...”窗口, 在“No. of integration pts. NIP”后的方框中输入“5”, 在“Thickness at node 1 T1”后的方框中输入“0.01”, 然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口, 最后单击“Close”按钮。

### 5. 划分单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs, 弹出“Meshing Attributes”窗口(见图 3-178)。在“Element type number”后选择“1 SOLID164”, 在“Material number”后选择“1”, 然后单击“OK”按钮。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Size Cntrls>Manual Size>Lines>All Lines, 弹出“Element Sizes on All Selected Lines”窗口, 在“Element edge length”后的方框中输入“0.03”, 然后单击“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh>Volumes>Mapped>4 to 6 sided, 弹出“Mesh Volumes”窗口, 单击“Pick All”按钮完成方块的网格划分(图 3-179)。

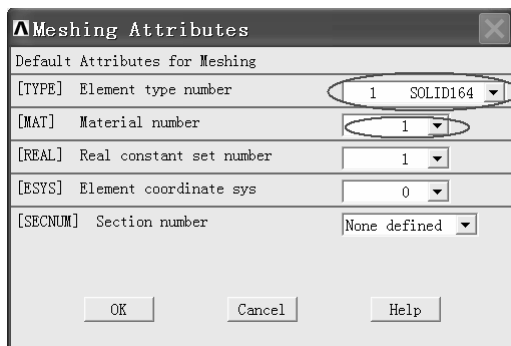


图 3-178 “Meshing Attributes”窗口

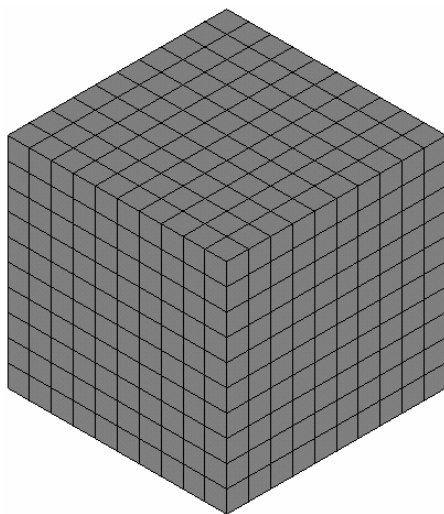


图 3-179 划分单元后的方块

(4) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas, 显示出所有的面。再选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs, 弹出“Meshing Attributes”窗口, 在“Element type number”后的方框中选择“2 SHELL163”, 在“Material number”后的方框中选择“2”, 在“Real constant set number”后的方框中选择“1”, 然后单击“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh>Areas>Free, 弹出“Mesh Areas”窗口, 单击选中圆筒上的所有弧面, 然后单击“OK”按钮, 划分好的网格见图 3-180。

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh>Modify Mesh>Areas, 弹出“Refine mes...”窗口, 单击选中圆筒上离方块最近的两个弧面(见图 3-181), 然后单击“OK”按钮。加密后的网格如图 3-182 所示。

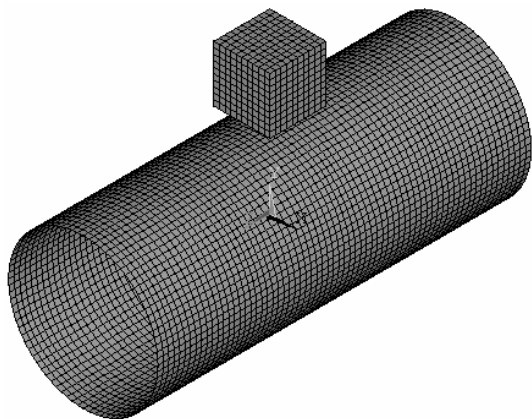


图 3-180 划分单元后的模型

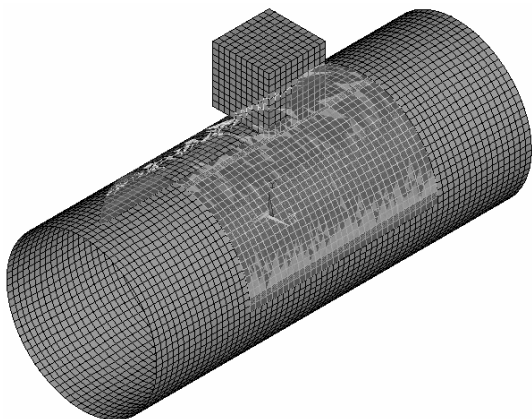


图 3-181 选择两个弧面

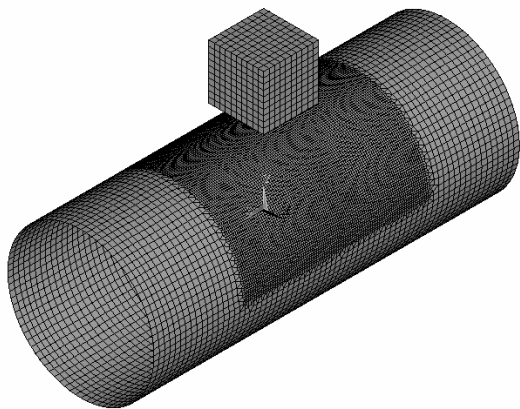


图 3-182 加密后的网格

## 6. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变, 单击该窗口的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口。

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 7. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口(见图 3-183)。

(2) 在“Input Velocity”中的“Input velocity on part/assembly”后的方框中选择“1”; 在“VY Global Y-component”后的方框中输入“-10”, 然后单击“OK”按钮。

## 8. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact, 弹出“Contact Parameter Definitions”窗口(见图 3-184)。

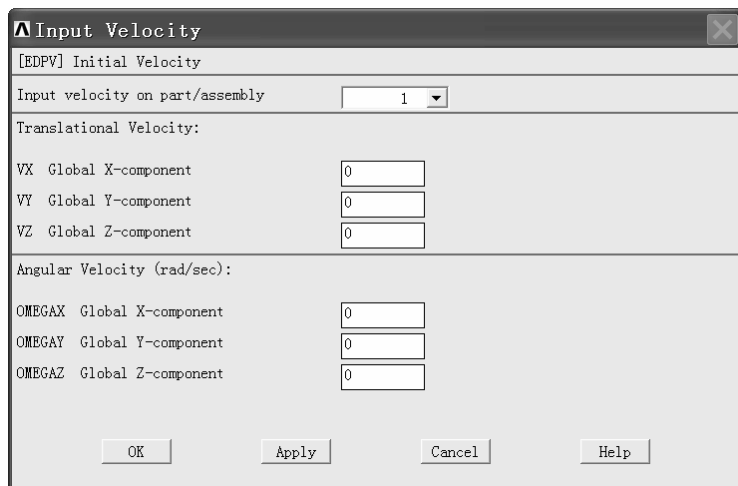


图 3-183 “Input Velocity” 窗口

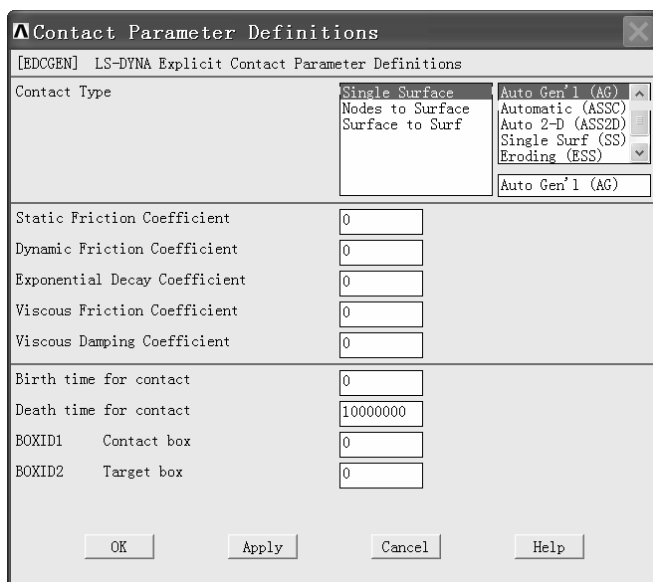


图 3-184 “Contact Parameter Definitions” 窗口

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Contact Type”后的第一个方框中选择“Single Surface”（选中后背景为蓝色），在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic (ASSC)”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Static Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Dynamic Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Constraints>Apply>On Lines，弹出“Apply U, RO...”窗口（见图 3-185），光标变为黑色向上的箭头。

(6) 单击选择圆筒两端的边界，共 8 段弧线（见图 3-186）。



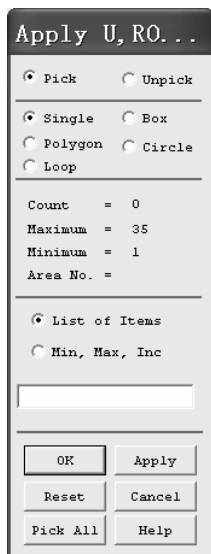


图 3-185 “Apply U, RO...” 窗口

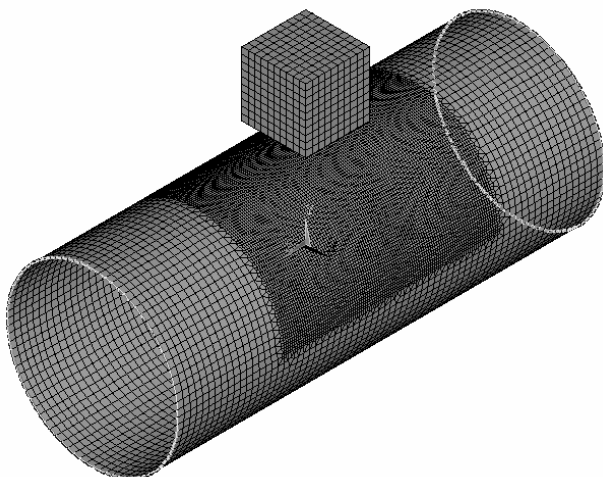


图 3-186 选中圆弧两端的边界

(7) 单击“Apply U, RO...”窗口中的“OK”按钮，弹出“Apply U, ROT on Lines”窗口（见图 3-187）。

(8) 拖动“Apply U, ROT on Lines”窗口右上方方框后的滚动条，选中“All DOF”，然后单击该窗口中的“OK”按钮，图形窗口中显示圆筒两端被约束。

(9) 单击操作界面左上角处工具条上的“SAVE\_DB”按钮（见图 3-188），保存文件。

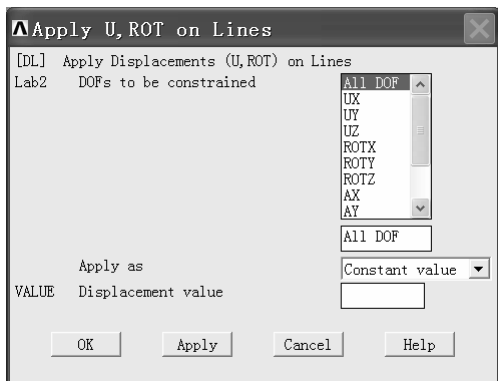


图 3-187 “Apply U, ROT on Lines” 窗口

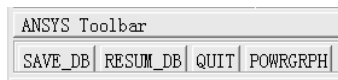


图 3-188 工具条

## 9. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time，弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 3-189）。

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.05”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types，弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口（见图 3-190）。

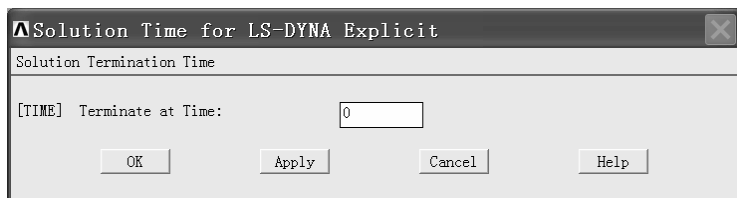


图 3-189 “Solution Time for LS-DYNA Explicit” 窗口

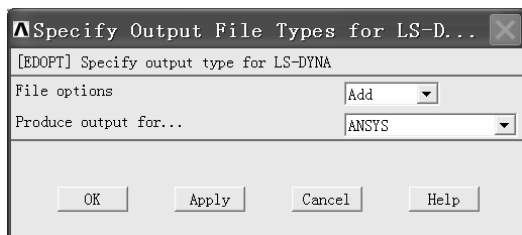


图 3-190 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”，在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps，弹出“Specify File Output Frequency”窗口（见图 3-191）。

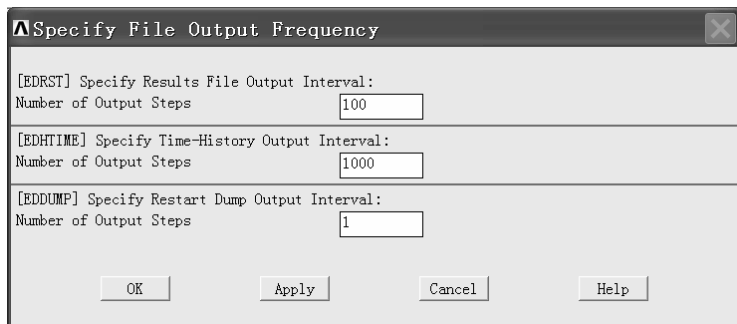


图 3-191 “Specify File Output Frequency” 窗口

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后的方框中输入“20”，在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“20”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

## 10. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k，弹出“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 3-192）。

(2) 在“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中“Write results files for...”后的方框中选择“LS-DYNA”（单击该方框后的倒立三角形来选择），再单击“Write input files to...”后的“Browse...”按钮，弹出“Write input files to...”窗口（见图 3-193）。

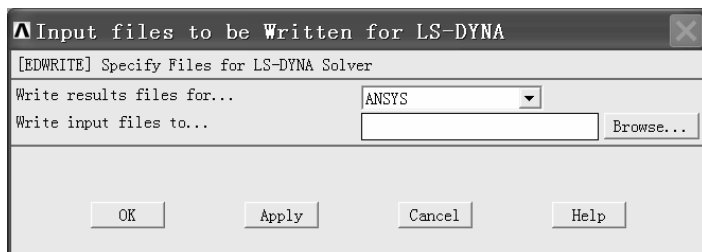


图 3-192 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

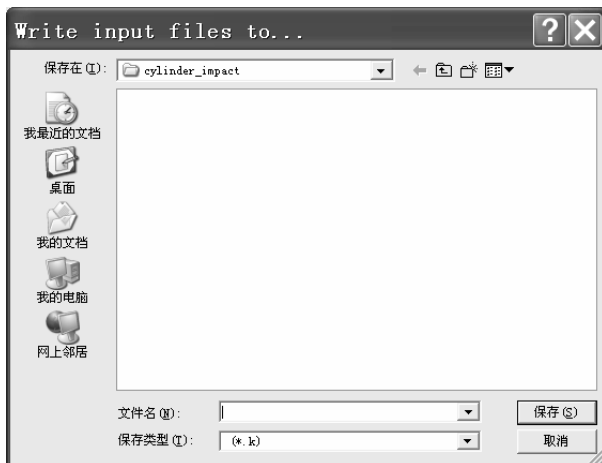


图 3-193 “Write input files to...” 窗口

(3) 在“Write input files to...”窗口中“文件名(N):”后的方框中输入“cylinder\_impact.k”，然后单击“保存”按钮返回到“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 3-194）。

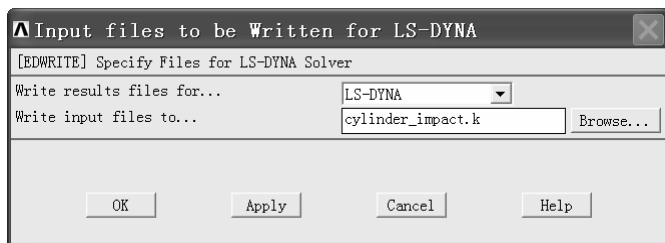


图 3-194 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中的“OK”按钮，弹出“EDWRITE Command”窗口（见图 3-195）。

(5) 单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出“Exit from ANSYS”窗口（见图 3-196）。

(7) 选中“Exit from ANSYS”窗口中的“Save Everything”，再单击该窗口中的“OK”按钮，到此整个前处理完成。

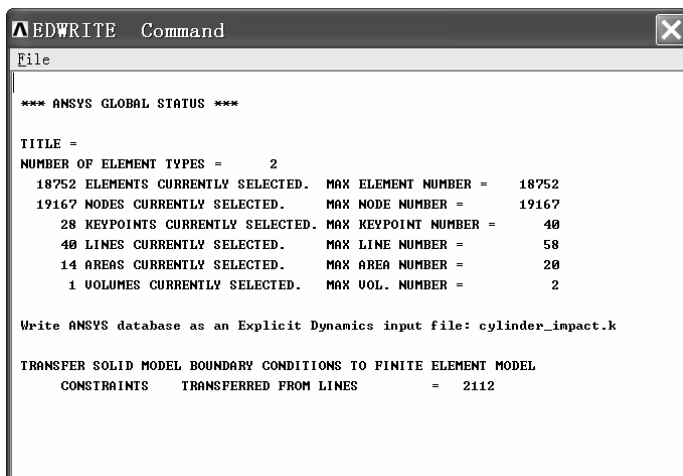


图 3-195 “EDWRITE Command” 窗口

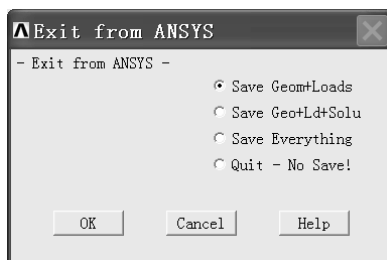
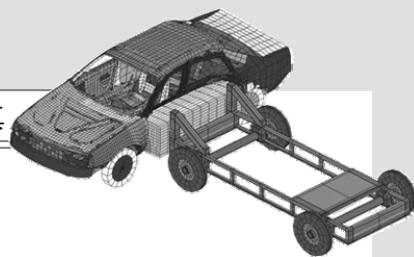


图 3-196 Exit from ANSYS” 窗口

## 3.12 小结

本章主要介绍了在 ANSYS LS-DYNA 模块下划分网格的常用方法。单元的选取必须结合实际状况。通常，板壳单元比实体单元计算效率高。为了获得高质量的网格，通常要求使用映射网格。划分网格时常常需要将模型首先分割成简单的图形元素，然后用胶结命令将模型结合成整体。通常，撞击区的网格要求划分得较为细密。



## 第 4 章 接 触

各种物体的表面只要发生碰撞就会涉及到接触问题。在数值模拟中，正确地设置接触非常重要。ANSYS LS-DYNA 中提供了数十种接触类型，适当地使用这些接触可以模拟大量的接触情况。



### 本章内容

- |                 |          |
|-----------------|----------|
| ➤ 接触的设置         | ➤ 接触力的获取 |
| ➤ Part 的建立      | ➤ 沙漏控制   |
| ➤ Component 的建立 |          |

## 4.1 LS-DYNA 接触类型

LS-DYNA 中主要有三大类型接触：单面接触（Single Surface Contact）、面面接触（Surface to Surface）、节点-面接触（Node to Surface）。设定单面接触后，物体可以接触自己本身的表面，也可以接触其他物体的表面。单面接触中，程序自动查找接触表面，不需设置接触面和目标面，因此单面接触的设置最简单。面面接触是很常用的接触，它可用于设置不同表面之间的接触。面面接触非常适用于物体表面有较大滑移的场合，且接触表面可以为任意形状。节点-面接触用于各节点贯穿表面的情况。

### 4.1.1 单面自动接触

使用单面自动接触可以方便地解决许多工程问题。在模拟过程中，当物体发生大变形时，物体可能接触到自身，且接触的区域常常不能预先确定出来，这时可以使用单面接触让程序自动检测所有的接触表面。在 LS-DYNA 显示分析中，单面接触的计算效率很高，只会增加较少的计算处理时间。而隐式分析中，接触区域的增加将导致计算时间大量增加。单面自动接触（ASSC）表示：选定接触的大类为单面接触，接触选项设置为自动接触（具体设置步骤见本章 4.4 节“接触类型的选取”）。在 LS-DYNA 中，自动接触应用极为广泛，其计算效率高，稳定性好。

单面接触的设置非常方便。不管接触表面的数量有多少，也不管接触表面的形状怎样，设定单面接触后，程序自动搜索所有的接触面，但单面接触不能提供接触力的信息。

### 4.1.2 面面自动接触

使用面面自动接触需要定义“接触面”和“目标面”。每一对接触有一个“接触面”和一个“目标面”。模拟中可以定义若干对接触以便得到每一对接触的接触力。如图 4-1 所示，

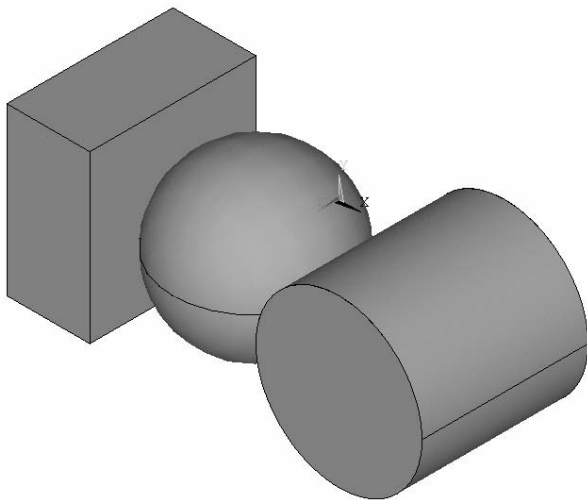


图 4-1 方块、球和圆柱体撞击

方块和圆柱体从两个方向撞击球体，在撞击过程中方块与球体有接触，需要定义一对接触；球体与圆柱之间也有接触，也需要定义一对接触，完成模拟分析后，两对接触处的撞击力都可以在后处理中提取出来。

## 4.2 生成零件 (Part)

**Part** 是具有某种特定属性的单元集合。借助于 **Part**，使用者可以方便地给模型中的不同物体或同一物体的不同部位施加初始度、定义接触或定义载荷。如图 4-2 所示，球体以某初速度撞击平板，为了给球体施加初速度，可将球体上的所有单元集成为一个整体，姑且称其为 **Part1**。同时也将平板上的所有单元集合为一体，称其为 **Part2**。施加初速度时，只需给 **Part1** 定义初速度。要实现球体与平板之间的接触，只需定义 **Part1** 和 **Part2** 之间的接触。

即使是连接为一体的模型，它的各个部分也可以为不同的 **Part**。如图 4-3 所示为三个长方体胶结在一起形成一个整体。每个长方体可以是不同的材料，它们有不同的 **Part** 号。顺便说一下，这三块板粘在一起后可以视为一个复合梁。对于复杂的模型，往往需要定义很多 **Part**，这样既方便定义各个部分之间的接触，也方便对各部分施加不同的初速度或载荷。

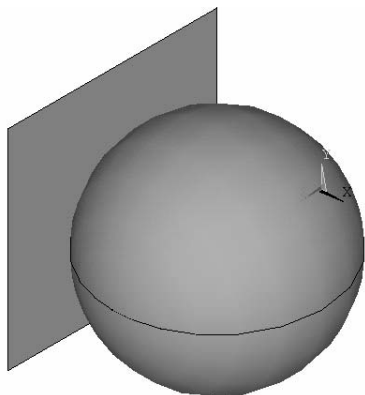


图 4-2 球体撞击平板

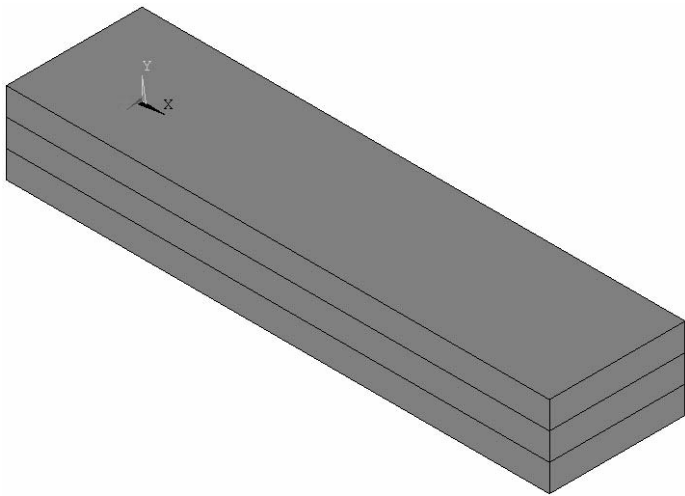


图 4-3 复合梁板

下面介绍定义 **Part** 的规则。通常可以通过控制单元类型编号、材料种类编号、实常数编号来定义 **Part**。如果一组单元的单元类型编号、材料种类编号、实常数编号都相同，则他们的 **Part** 号也相同。如图 4-4 所示，右端方板固定，左端方板沿圆柱壳轴线方向撞击圆柱壳，圆柱壳被挤压发生变形。如表 4-1 所示，因为两个方板的单元类型编号、材料种类编号、实常数编号都相同，故它们的 **Part** 号也相同，但这样不便于单独对左边方板施加初速

度。表 4-2 和表 4-3 为各个物体定义不同的 Part 号。在 ANSYS LS-DYNA 中, 生成 Part 的具体步骤见本章中的实例。

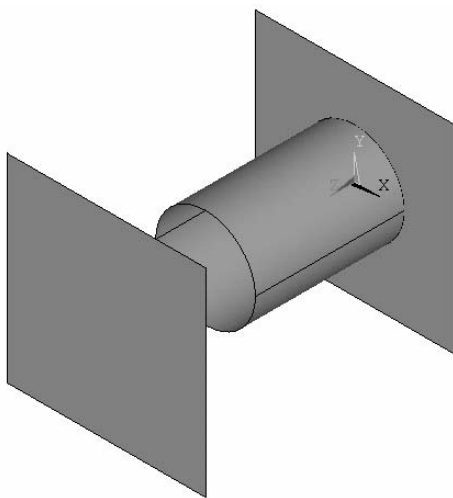


图 4-4 两块板压缩圆柱壳

表 4-1 各模型的 Part 号 (1)

|      | 单元类型编号 | 材料种类编号 | 实常数编号 | Part 号 |
|------|--------|--------|-------|--------|
| 左边方板 | 1      | 1      | 1     | Part1  |
| 右边方板 | 1      | 1      | 1     | Part1  |
| 圆柱壳  | 1      | 1      | 2     | Part2  |

表 4-2 各模型的 Part 号 (2)

|      | 单元类型编号 | 材料种类编号 | 实常数编号 | Part 号 |
|------|--------|--------|-------|--------|
| 左边方板 | 1      | 1      | 1     | Part1  |
| 右边方板 | 2      | 1      | 1     | Part2  |
| 圆柱壳  | 3      | 1      | 1     | Part3  |

表 4-3 各模型的 Part 号 (3)

|      | 单元类型编号 | 材料种类编号 | 实常数编号 | Part 号 |
|------|--------|--------|-------|--------|
| 左边方板 | 1      | 1      | 1     | Part1  |
| 右边方板 | 2      | 1      | 1     | Part2  |
| 圆柱壳  | 2      | 2      | 1     | Part3  |

### 4.3 生成部件 (Component)

利用 Component 可以方便地对模型施加初速度及各种载荷。与 Part 相似, Component 也是有限元模型中的某种集合。有时使用 Component 比使用 Part 更为方便。如图 4-5 所示, 圆杆的左端受到一个速度 (可随时间变化) 的拉伸, 要将这个速度施加到圆杆的左端面, 可以先把圆杆的左端面设为一个 Component (具体设置过程见本章实例), 然后将速度



施加在这个 Component 上即可。

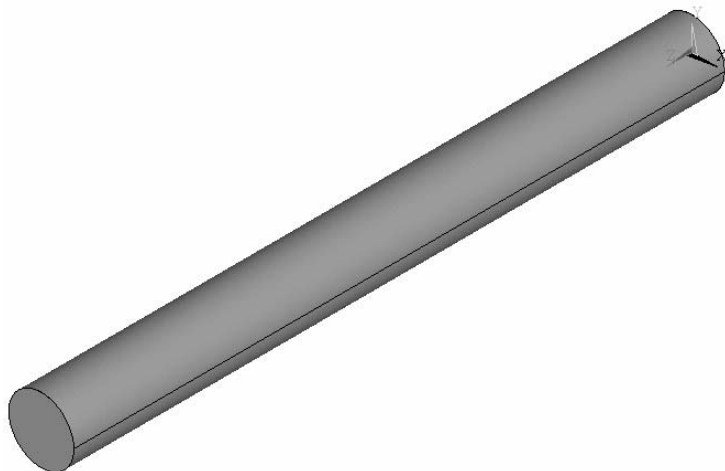


图 4-5 左端受拉伸的圆杆

使用 Component 还可以减少分析接触时的计算机耗时。如图 4-6 所示为两个实心球相撞求撞击力的大小。如果使用 Part 来定义接触会使用到较多单元，处理接触的计算时间也较长。如果使用 Component 定义接触（即定义接触面、目标面：一对接触中相互作用的两组面，其中一组叫“接触面”，另一组叫“目标面”），计算量将大为减小。这里可以仅仅将包含接触区域的一小部分球体表面定义为 Component（每个球上定义一个 Component），然后用这两个 Component 定义接触即可。

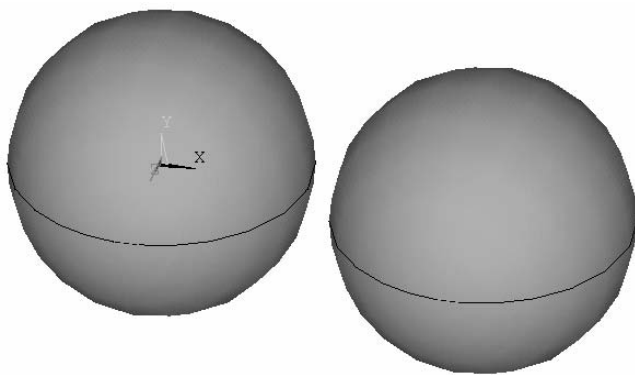


图 4-6 两个实心球相撞

## 4.4 接触类型的选取

接触类型选取的是否适当直接关系到模拟质量的好坏。这里介绍两种常用接触类型的使用场合及注意事项。

单面自动接触使用起来最为简单，即使模型十分复杂（如汽车碰撞模拟可能涉及数百个构件），建模人员定义接触的工作量也不会增加，即使建模人员不能预测接触的区域也没关

系（结构发生大变形、大位移时，往往很难准确预测接触区域）。使用单面自动接触后，程序将自动检测所有的接触，即使同一个构件的自我接触也可以被很好地处理，且这种接触的计算效率也很高。单面自动接触的不足之处主要有以下两点：（1）不能给出各个部件之间的接触力信息；（2）定义摩擦系数时有些困难，如汽车中各部分之间的摩擦系数不同。

面面自动接触在工程中应用很广，它可以方便地给出模拟结构各部分之间的撞击力，同时也能方便地设置各个接触区域的摩擦系数。合理设置面面自动接触可以大大减少计算接触的时间。例如，在知道撞击区域的情况下，可以只将该区域纳入接触范围（不像单面自动接触那样会将整个模型都纳入考虑）。面面自动接触也很适合处理物体表面间存在大量滑动的情况。面面自动接触的不足之处是：（1）设置接触的工作量可能比较大（如汽车中有很多零部件，可能接触的地方很多）。如图 4-7 所示为四个球相互碰撞，每两个球之间都要设置接触，共有六对接触（1 球与 2 球、1 球与 3 球、1 球与 4 球、2 球与 3 球、2 球与 4 球、3 球与 4 球）。（2）使用该种接触常常需要预先估计接触区域，这需要一定的经验。

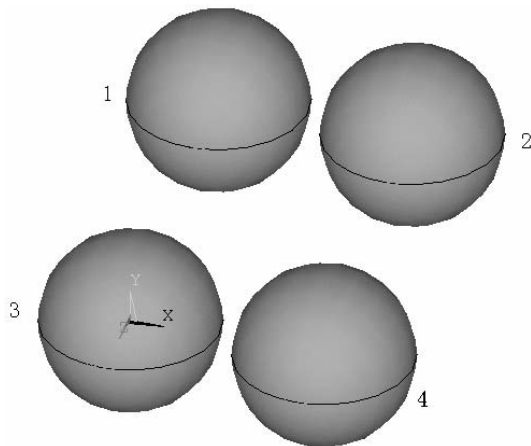


图 4-7 四球相互碰撞

下面介绍在 ANSYS LS-DYNA 前处理器中选取接触类型的操作方法。

单面自动接触的选取方法：依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact，弹出“Contact Parameter Definitions”窗口（见图 4-8）。在“Contact Type”后的第一个方框内选择“Single Surface”，在第二个方框内选择“Automatic (ASSC)”，在“Static Friction Coefficient”后的方框中输入静摩擦系数，在“Dynamic Friction Coefficient”后的方框中输入动摩擦系数，然后单击“OK”按钮。

面面自动接触的选取方法：依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact，弹出“Contact Parameter Definitions”窗口（见图 4-9）。在“Contact Type”后的第一个方框内选择“Surface to Surf”，在第二个方框内选择“Automatic (ASTS)”，在“Static Friction Coefficient”后的方框中输入静摩擦系数，在“Dynamic Friction Coefficient”后的方框中输入动摩擦系数，然后单击“OK”按钮，弹出“Contact Options”窗口（见图 4-10）。在“Contact Component or Part no.”后选择一个 Component 号或一个 Part 号，在“Target Component or Part no.”后选择另一个 Component 号或 Part 号，然后单击“OK”按钮。以上选择定义了一对接触，即一个接触面与一个目标面。

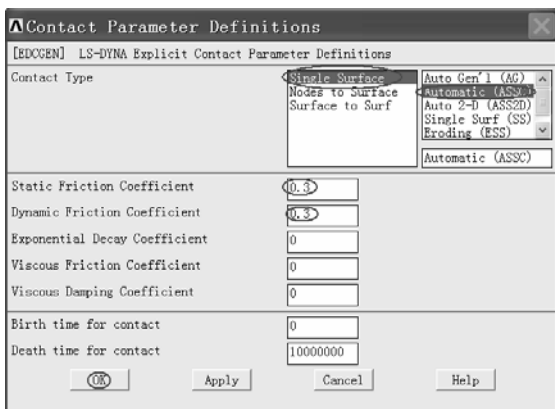


图 4-8 “Contact Parameter Definitions” 窗口

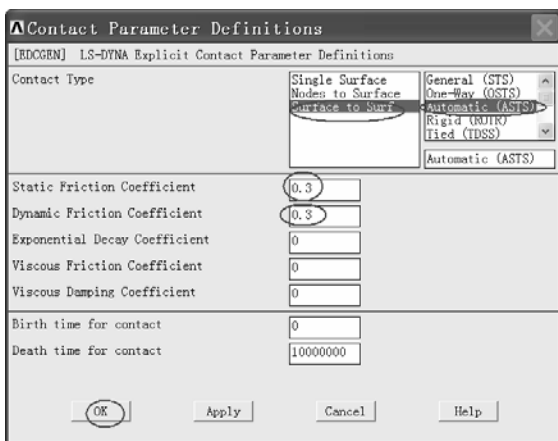


图 4-9 “Contact Parameter Definitions” 窗口

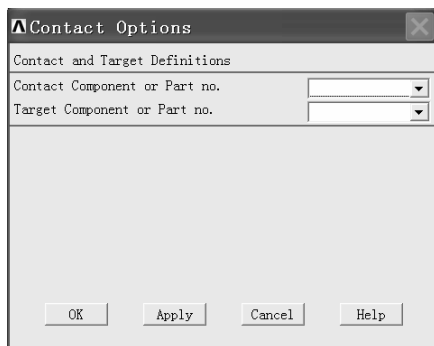


图 4-10 “Contact Options” 窗口

## 4.5 删除接触

在 ANSYS LS-DYNA 中建模时常常会遇到需要删除接触的情况。设置过多的接触对会增加计算量，另外接触设置不当常常使得计算过程意外终止。

删除单面自动接触的方法如下：依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Delete Entity，弹出“Delete Contact Entities for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 4-11）。在“Contact Type”后的第一个方框中选择“Single Surface”，在第二个方框中选择“Automatic (ASSC)”，然后单击“OK”按钮。

删除面面自动接触的方法如下：依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Delete Entity，弹出“Delete Contact Entities for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 4-12）。在“Contact Type”后的第一个方框中选择“Surface to Surf”，在第二个方框中选择“Automatic (ASTS)”，在“Contact Component or Part no.”后选择接触面的 Part 号（或 Component 号），在“Target Component or Part no.”后选择目标面的 Part 号（或 Component 号），然后单击“OK”按钮。通常选取曲面作为接触面，选取比较平坦的面作为目标面。

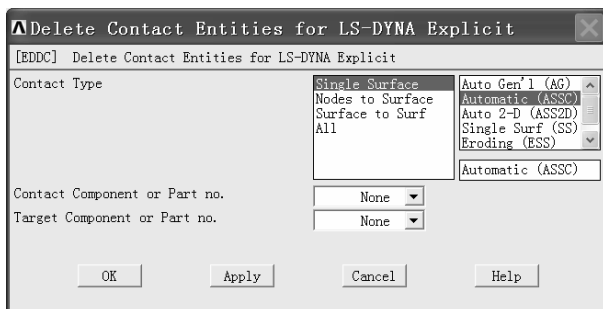


图 4-11 “Delete Contact Entities for LS-DYNA Explicit” 窗口

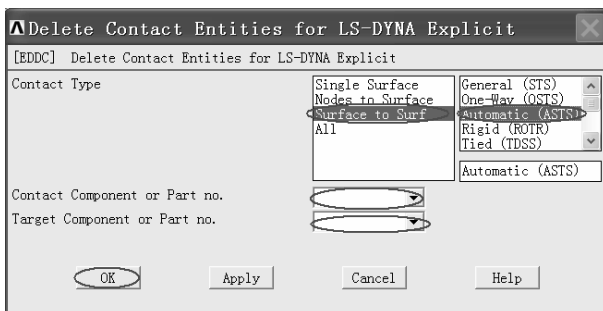


图 4-12 “Delete Contact Entities for LS-DYNA Explicit” 窗口

## 4.6 边界条件与初速度

给出一个模型的边界条件、初速度及接触就基本上确定了一个比较完整的工况。接触的设置往往受到边界条件及初速度的影响。当边界条件发生变化时，接触的部位可能发生变化。初速度较大时，接触的区域可能增大。下面简要介绍 ANSYS LS-DYNA 中边界条件与初速度的设置方法。

在 ANSYS LS-DYNA 中，可以对线、面及节点等设置约束条件。

对面的约束：依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Constraints>Apply>On Areas，弹出“Apply U, RO...”窗口（见图 4-13）。在图形界面选择需要施加约束的面，然后单击“OK”按钮，弹出“Apply U, ROT on Areas”窗口（见图 4-14）。如果选择“All DOF”后再单击“OK”按钮，则表示将约束面的所有自由度。其他选项的含义如下：

UX、UY、UZ：沿 X、Y、Z 方向的位移自由度；

ROTX、ROTY、ROTZ：沿 X、Y、Z 轴的转动自由度；

AX、AY、AZ：沿 X、Y、Z 方向的加速度；

VX、VY、VZ：沿 X、Y、Z 方向的速度。

当面上有多个自由度受到约束时，可以多次对面施加约束。

对线、节点施加约束与对面施加约束相似。对线施加约束的路径是：Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Constraints>Apply>On Lines。对节点施加约束的路径是：Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Constraints>Apply>On Nodes。

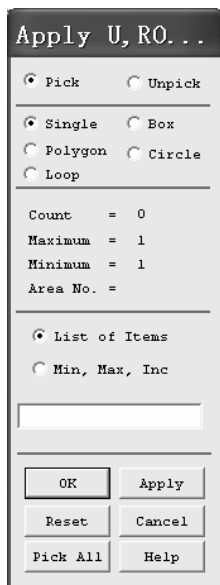


图 4-13 “Apply U, RO...” 窗口

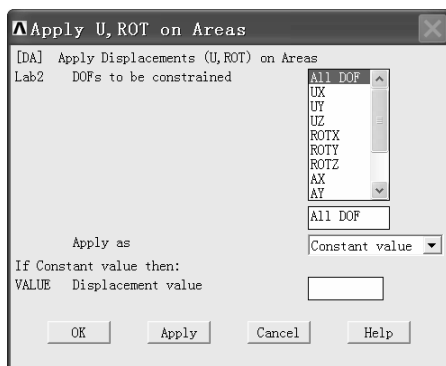


图 4-14 “Apply U, ROT on Areas” 窗口

在 ANSYS LS-DYNA 中可以对 Part 和 Component 施加初速度，包括线速度和角速度。给 Component 施加初速度的路径是：Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Nodes>w/Nodal Rotate，弹出“Input Velocity”窗口（见图 4-15），在“Input velocity on component”后的方框中选择需要添加初速度的 Component 号。在“VX Global X-component”后的方框中填入沿 X 方向的速度分量。类似地，可在“VY Global Y-component”、“VZ Global Z-component”后填入相应的速度分量数据。

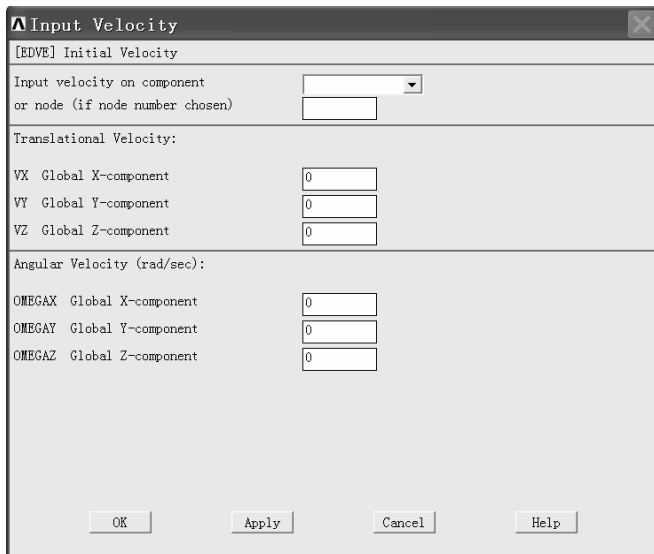


图 4-15 “Input Velocity” 窗口

给 Part 施加初速度的操作与给 Component 施加初速度的操作相似，其设置路径为：Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/Nodal Rotate。

## 4.7 工程实例 1——球面与平板的接触

本例题主要演示在 ANSYS LS-DYNA 中建立 Part, 设置面面自动接触, 给 Part 添加初速度。辅导光盘中给出了一个起始文件, 该文件中已经建立好了一个球壳和一个方板, 并且完成了网格划分。要求: 约束方板四条边线的所有自由度, 给壳体施加 10m/s 的初速度, 并在球壳与平板间设置面面自动接触。



**起始文件**——附带光盘 “Ch4\shell and plate.db”



**结果文件**——附带光盘 “Ch4\ shell and plate.k”

将光盘中 “Ch4” 目录下的 “shell and plate.db” 文件复制到计算机 “D:\Ch4\shell and plate” 目录下。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在 “开始” 菜单中指向 “ANSYS 14.0” 文件夹, 出现 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标 (见图 4-16)。单击 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标, 弹出 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口 (见图 4-17)。

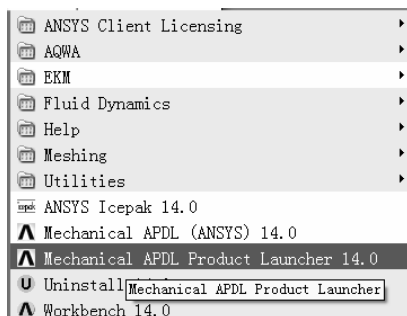


图 4-16 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标

(2) 单击 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中 “Simulation Environment:” 方框后的倒立三角形图标, 选中 “ANSYS”。

(3) 单击 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中 “License:” 方框后的倒立三角形图标, 选中 “ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中的 “Working Directory:” 方框内找出 “D:\Ch4\shell and plate” 目录 (单击方框后的 “Browse...” 按钮来寻找目录)。

(5) 在 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中的 “Job Name:” 方框内找出 “D:\Ch4\shell and plate” 目录中的 “shell and plate.db” 文件。

(6) 单击 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中的 “Run” 按钮, 弹出 ANSYS LS-DYNA 的操作界面。

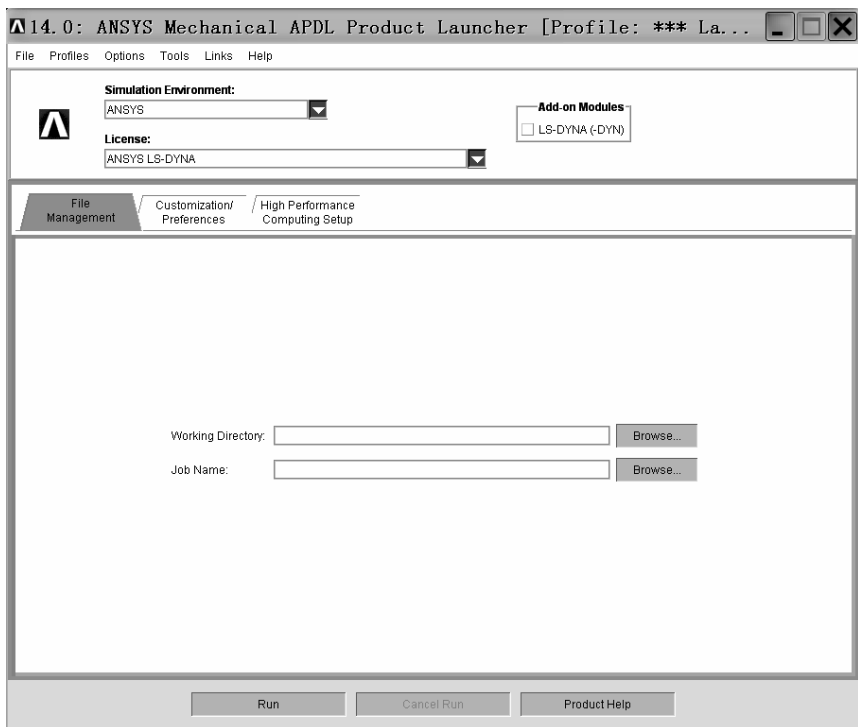


图 4-17 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(7) 单击 ANSYS LS-NYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮（见图 4-18），打开“D:\Ch4\shell and plate”目录中的“shell and plate.db”文件。打开该文件后，图形界面中显示出划分网格后的球壳与方板。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将图形窗口的背景变为白色，以便后续操作中更清楚地观看视图（见图 4-19）。

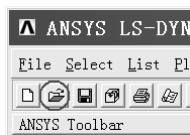


图 4-18 “OPEN ANSYS File”按钮

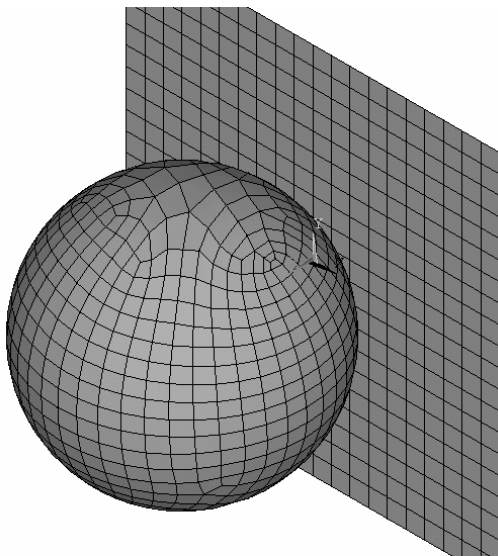


图 4-19 球壳与方板

## 2. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 4-20)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变, 单击该窗口中的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口(见图 4-21), 该窗口中显示模型共生成了两个 Part。其中 Part1 (该 Part 的编号为“1”)有 875 个单元, 为球壳; Part2 有 400 个单元, 为方板。这两个 Part 中单元的唯一不同之处为 Part1 中单元的实常数编号为“1”, Part2 中单元的实常数编号为“2”。

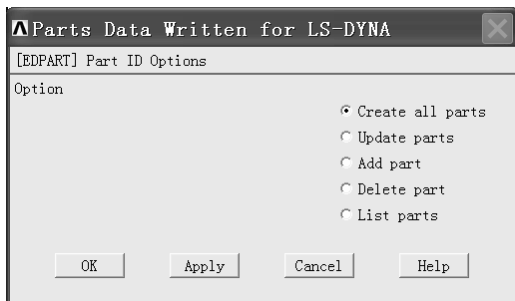


图 4-20 “Parts Data Written for LS-DYNA”窗口

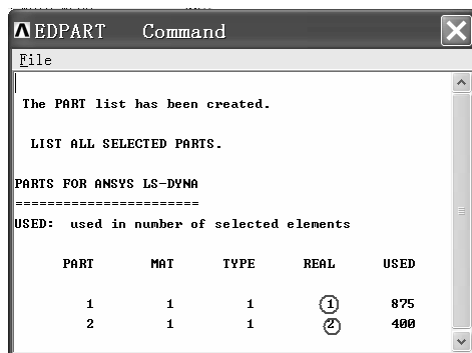


图 4-21 “EDPART Command”窗口

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 3. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口(见图 4-22)。

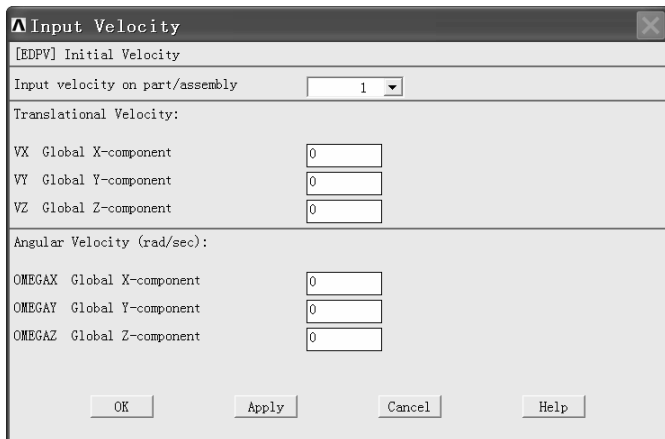


图 4-22 “Input Velocity”窗口

(2) 在“Input Velocity”中的“Input velocity on part/assembly”后的方框中选择“1”(即给 Part1 施加初速度), 在“VZ Global Z-component”后的方框中输入“-10”, 然后单击“OK”按钮。



#### 4. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact, 弹出“Contact Parameter Definitions”窗口(见图 4-23)。

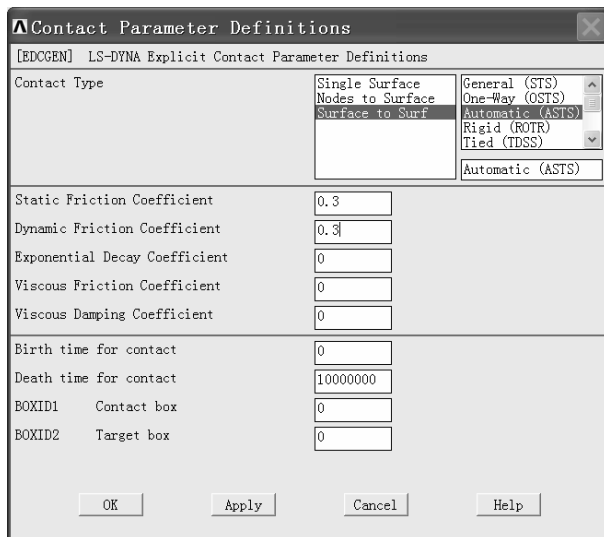


图 4-23 “Contact Parameter Definitions”窗口

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Contact Type”后的第一个方框中选择“Surface to Surf”(选中后背景为蓝色), 在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic (ASTS)”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Static Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中的“Dynamic Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮, 弹出“Contact Options”窗口(见图 4-24)。

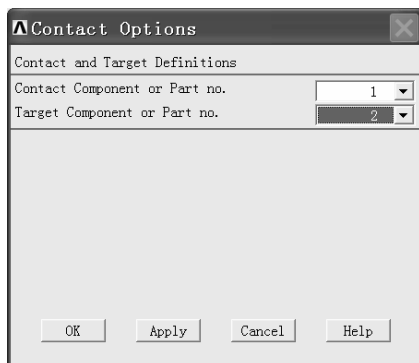


图 4-24 “Contact Options”窗口

(5) 在“Contact Component or Part no.”后选择“1”, 在“Target Component or Part no.”后选择“2”。以上操作表示将 Part1 和 Part2 之间设置为面面自动接触。

(6) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Constraints>Apply>On Lines, 弹出“Apply U, RO...”窗口(见图 4-25), 光标变为黑色向上的箭头。

(7) 依次选择方板的四条边界, 然后单击“OK”按钮, 弹出“Apply U, ROT on Lines”窗口(见图 4-26)。

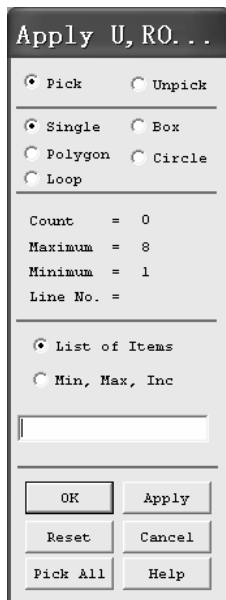


图 4-25 “Apply U, RO...”窗口

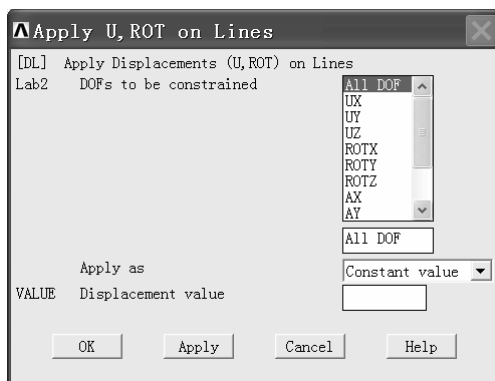


图 4-26 “Apply U, ROT on Lines”窗口

(8) 拖动“Apply U, ROT on Lines”窗口右上方方框后的滚动条, 单击选中“All DOF”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮, 图形界面显示方板四周被约束(见图 4-27)。

(9) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮(见图 4-28), 保存文件。

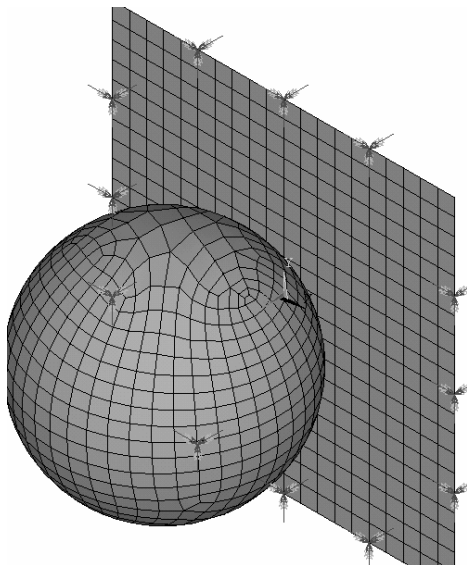


图 4-27 方板四周被约束

## 5. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time, 弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口(见图4-29)。

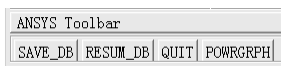


图 4-28 工具条

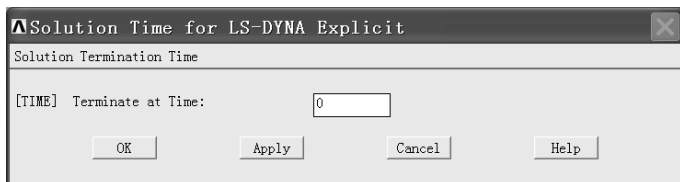


图 4-29 “Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.05”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮。注意: 前面输入的“0.05”表示模拟过程的持续时间。持续时间越长计算耗时就越多。这里的“0.05”是由简单的计算确定的: 以 10m/s 的速度运动, 0.05s 可运行的距离为 0.5m, 在这段时间内球壳与方板大概已经分离。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types, 弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口(见图4-30)。

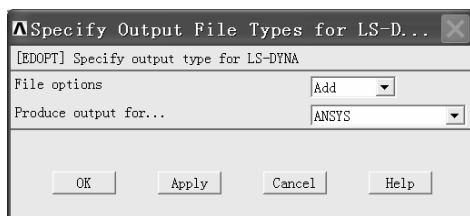


图 4-30 “Specify Output File Types for LS-D...”窗口

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”(单击该方框后的倒立三角形来选择), 在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”(单击该方框后的倒立三角形来选择), 然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps, 弹出“Specify File Output Frequency”窗口(见图4-31)。

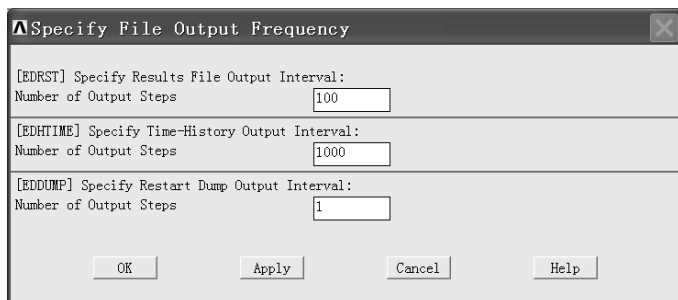


图 4-31 “Specify File Output Frequency”窗口

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output

Interval:”后的方框中输入“40”，该“40”表示将整个持续时间（即“0.05”）分为40个均等的时间段，每过一段时间保留一组计算结果（如应力场、应变场、速度场等）。通常，结果保留太多会占用大量的存储空间；在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“40”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

## 6. 生成 K 文件

（1）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k，弹出“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 4-32）。

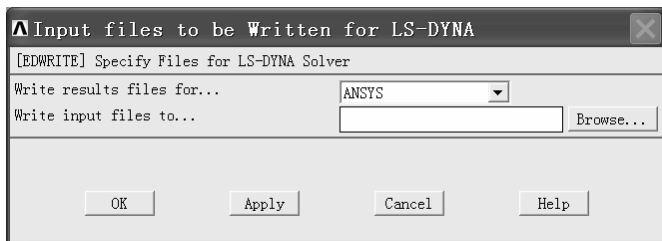


图 4-32 “Input files to be Written for LS-DYNA”窗口

（2）在“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中“Write results files for...”后的方框中选择“LS-DYNA”（单击该方框后的倒立三角形来选择）。再单击“Write input files to...”后的“Browse...”按钮，弹出“Write input files to...”窗口（见图 4-33）。

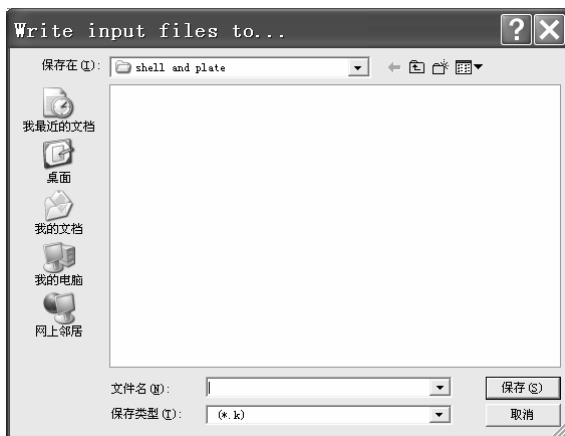


图 4-33 “Write input files to...”窗口

（3）在“Write input files to...”窗口中“文件名(N):”后的方框中输入“shell and plate.k”，然后单击“保存”按钮返回到“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 4-34）。

（4）单击“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中的“OK”按钮，弹出“EDWRITE Command”窗口（见图 4-35）。

（5）单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

（6）单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出“Exit from ANSYS”窗口（见图 4-36）。

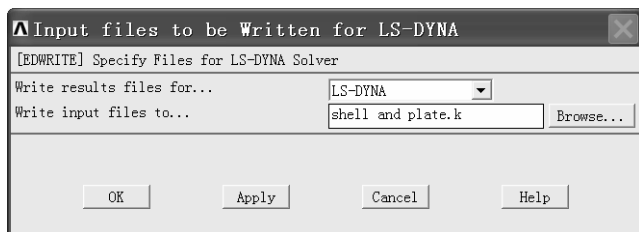


图 4-34 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

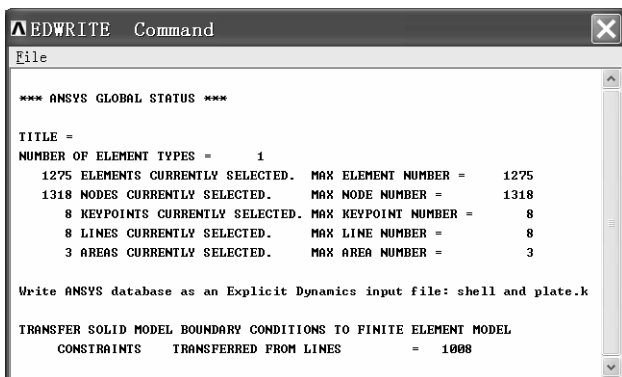


图 4-35 “EDWRITE Command” 窗口

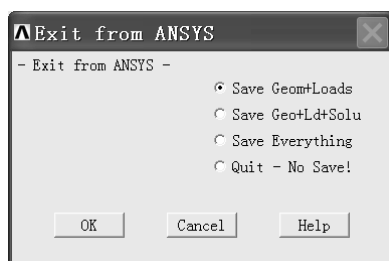


图 4-36 Exit from ANSYS” 窗口

(7) 选中“Exit from ANSYS”窗口中的“Save Everything”，再单击该窗口中的“OK”按钮。

## 4.8 工程实例 2——柱壳与球壳的自动接触

本例题主要演示在 ANSYS LS-DYNA 中建立 Component，利用 Component 设置计算效率较高的面面自动接触，以及提取接触力（即接触面与目标面之间的相互作用力）的方法。附带光盘中给出了一个起始文件，该文件中已经建好了一个带圆头的柱壳和一个球壳，并且完成了网格划分。要求：给柱壳施加 10m/s 的初速度，并设置柱壳头部与球壳的面面自动接触，提取两壳体之间的撞击力随时间变化的信息。



**起始文件**——附带光盘“Ch4\shell and ball.db”



**结果文件**——附带光盘“Ch4\shell and ball.k”

将光盘中的“Ch4”目录下的“shell and ball.db”文件复制到计算机“D:\Ch4\shell and ball”的目录下。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 4-37）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 4-38）。

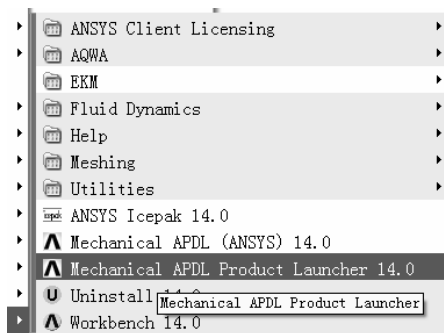


图 4-37 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标

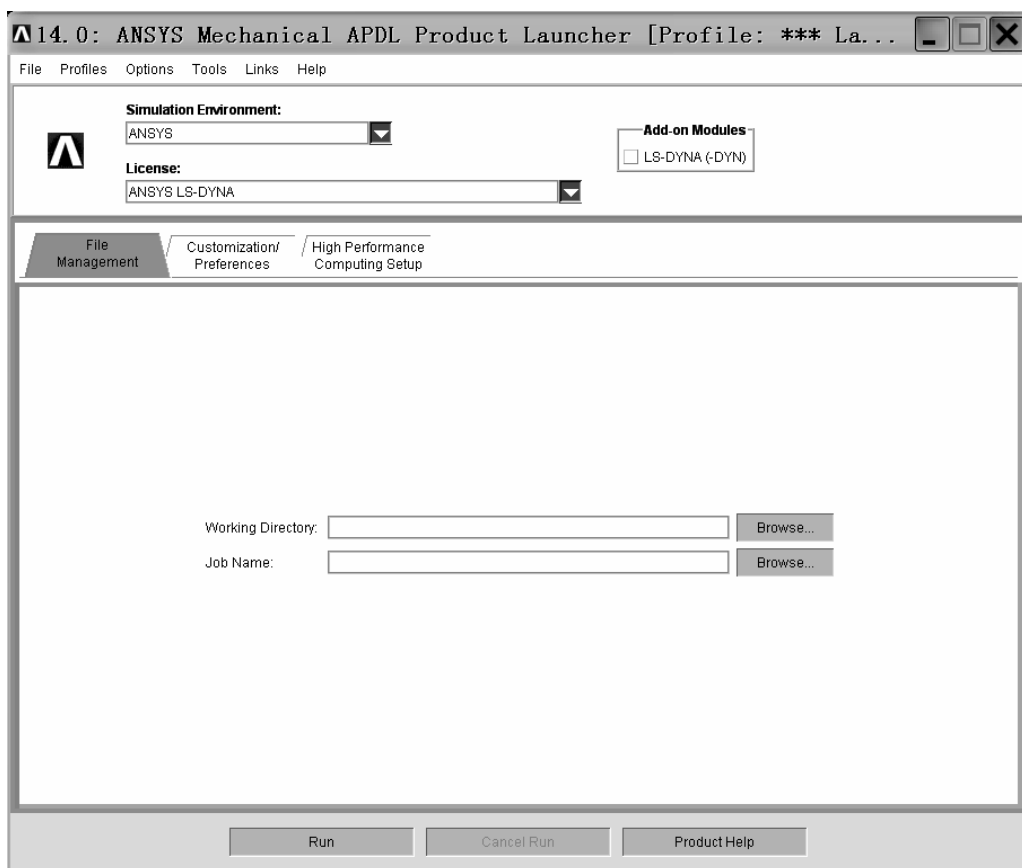


图 4-38 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch4\shell and ball”目录（单击“Browse”按钮查找）。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch4\shell and ball”目录中的“shell and ball.db”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮,弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-DYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮(见图 4-39),打开“D:\Ch4\shell and ball”目录中的“shell and ball.db”文件。打开该文件后图形界面中显示划分单元后的球壳与柱壳。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video,将图形窗口的背景变为白色,以便后续操作中更清楚地观看视图(见图 4-40)。

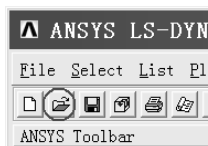


图 4-39 “OPEN ANSYS File”按钮

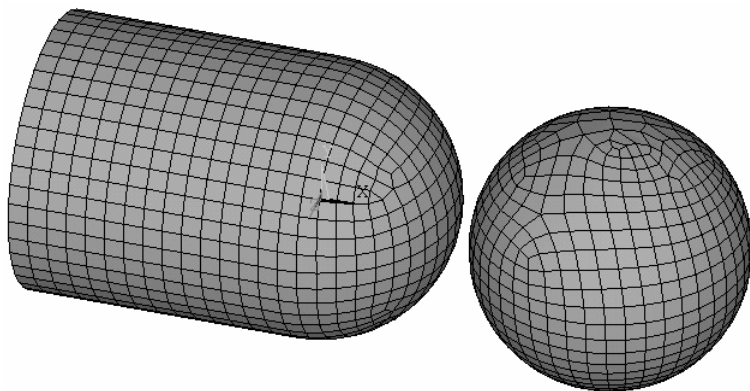


图 4-40 柱壳与球壳

## 2. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options,弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 4-41)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变,单击该窗口中的“OK”按钮,弹出“EDPART Command”窗口(见图 4-42),该窗口中显示模型共生成了两个 Part。其中 Part1(该 Part 的编号为“1”)有 977 个单元,为柱壳;Part2 有 849 个单元,为球壳。这两个 Part 中的单元唯一不同之处为:Part1 中单元的单元类型编号为“1”,Part2 中单元的单元类型编号为“2”。

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 3. 生成 Component

直接使用 Part1 与 Part2 可以设置接触,但实际发生接触的部位在柱壳的圆头附近,这里可以只选择用柱壳的圆头与球壳接触。由于设定的接触范围减少了,计算耗用的时间也将减少。

(1) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities...,弹出“Selec...”窗口(见图 4-43)。在该窗口的第一个方框中选择“Areas”,在第二个方框中选择“By Num/Pick”,再选中“From Full”单选框,然后单击“OK”按钮,弹出“Select areas”窗口(见图 4-44)。

(2) 选择柱壳头部的球形面,共四块(见图 4-45),然后单击“OK”按钮。

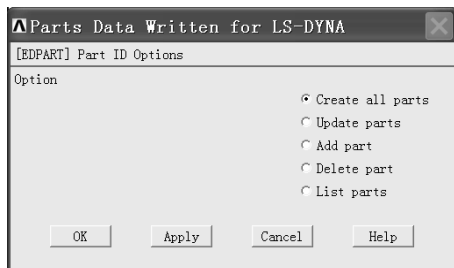


图 4-41 “Parts Data Written for LS-DYNA” 窗口

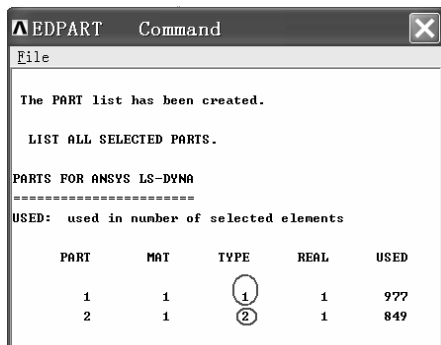


图 4-42 “EDPART Command” 窗口

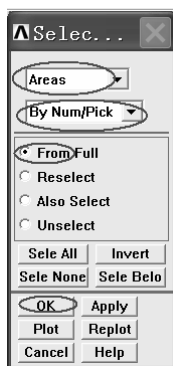


图 4-43 “Selec...” 窗口

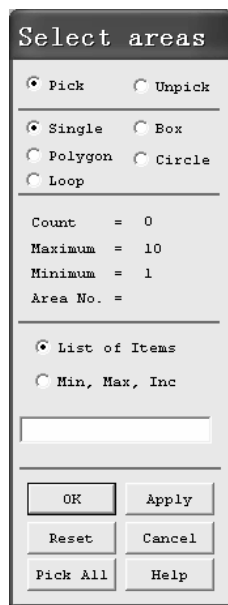


图 4-44 “Select areas” 窗口

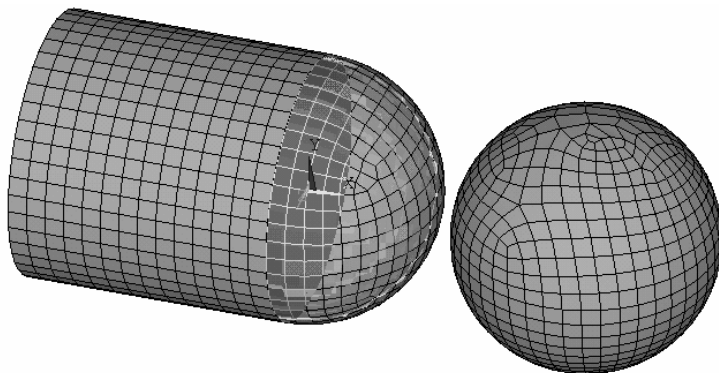


图 4-45 柱壳头部被选中

(3) 依次选择 Utility Menu>Entities..., 弹出 “Selec...” 窗口 (见图 4-46), 在该窗口的第一个方框中选择 “Nodes”, 在第二个方框中选择 “Attached to”, 再选中 “Areas, all” 单



选框，然后单击“OK”按钮，以上操作表示提取前面选出的四块面上的节点。

(4) 依次选择 Utility Menu>Comp/Assembly>Create Component...，弹出“Create Component”窗口（见图 4-47）。在“Component name”后的方框中输入“ABC”，在“Entity Component is made of”后的方框中选择“Nodes”，然后单击“OK”按钮。该步骤表示将前面选出的节点集合组成一个 Component，且给这个 Component 取名为“ABC”。

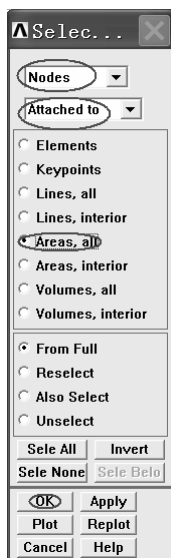


图 4-46 提取柱壳头部的节点

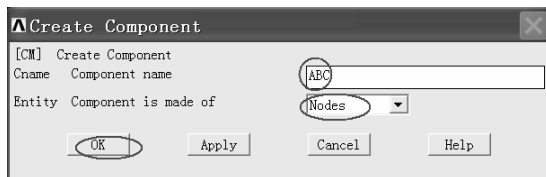


图 4-47 “Create Component”窗口

(5) 依次选择 Utility Menu>Select>Everything，这一步很重要，不要忘记，否则计算时会出问题。

#### 4. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate，弹出“Input Velocity”窗口（见图 4-48）。

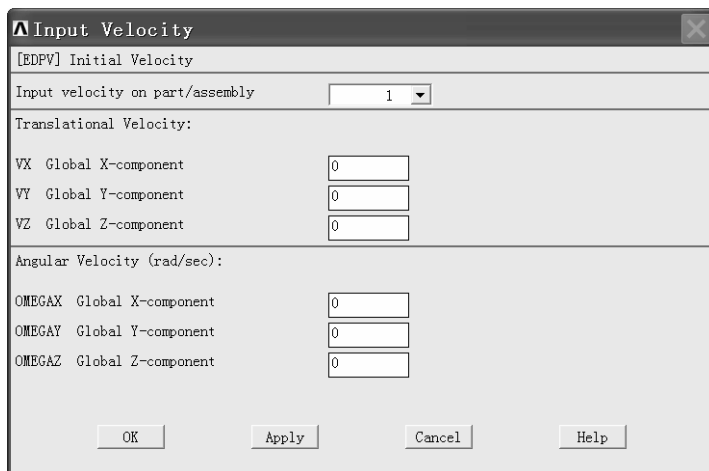


图 4-48 “Input Velocity”窗口

(2) 在“Input Velocity”中的“Input velocity on part/assembly”后的方框中选择“1”（即给 Part1 也就是柱壳施加初速度），在“VX Global X-component”后的方框中输入“10”，然后单击“OK”按钮。

## 5. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact，弹出“Contact Parameter Definitions”窗口（见图 4-49）。

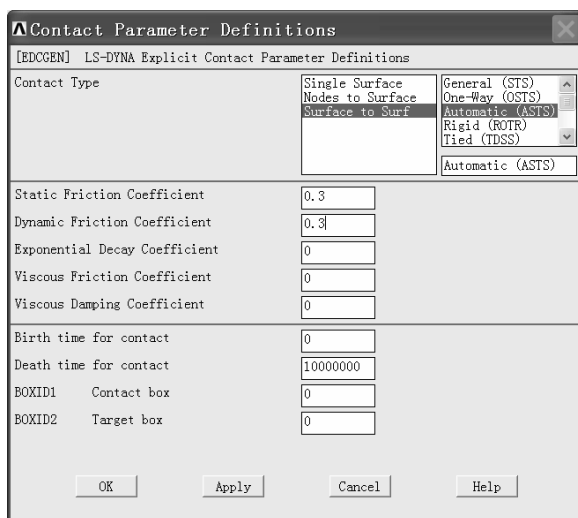


图 4-49 “Contact Parameter Definitions”窗口

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Contact Type”后的第一个方框中选择“Surface to Surf”（选中后背景为蓝色），在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic（ASTS）”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Static Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Dynamic Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”，然后单击该窗口中的“OK”按钮，弹出“Contact Options”窗口（见图 4-50）。

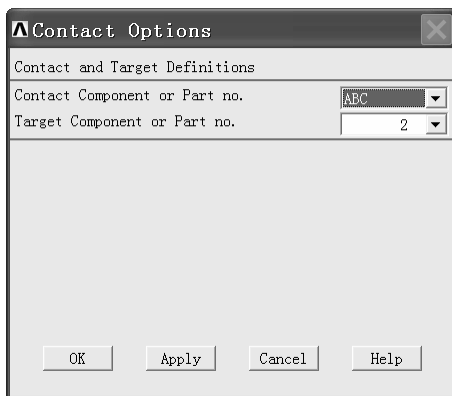
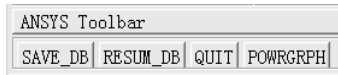


图 4-50 “Contact Options”窗口

(5) 在“Contact Component or Part no.”后面选择“ABC”，在“Target Component or Part no.”后面选择“2”。以上操作表示在柱壳的球头和球壳之间设置面面自动接触。



(6) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮（见图 4-51），保存文件。

图 4-51 工具条



## 应用·技巧

在 ANSYS LS-DYNA 中建模时应当避免物体之间出现初始贯穿（即在计算的一开始已经有一物体嵌入在了另一物体中），否则会出现接触方面的错误。因此，常常将撞击物之间拉开一定距离。注意壳体是有厚度的，而建模时使用的是壳体中性层的几何尺寸，应当避免壳体外壁之间的初始贯穿，同时物体之间的初始距离也不应太长，因为物体经过这段距离会耗时，进而增加计算时间。

## 6. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time，弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 4-52）。

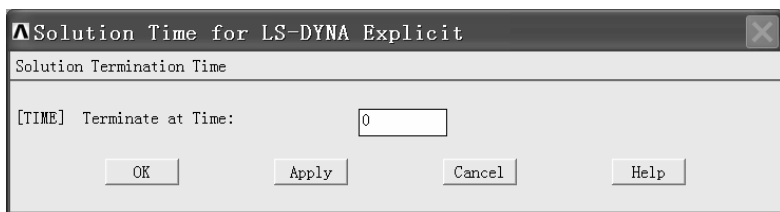


图 4-52 “Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.05”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types，弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口（见图 4-53）。

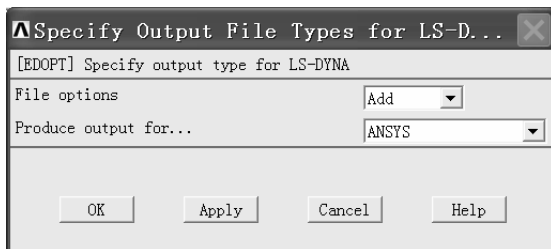


图 4-53 “Specify Output File Types for LS-D...”窗口

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”（单击该方框后的倒立三角形来选择）。在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”（单击该方框后的倒立三角形来选择），然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps, 弹出“Specify File Output Frequency”窗口(见图 4-54)。

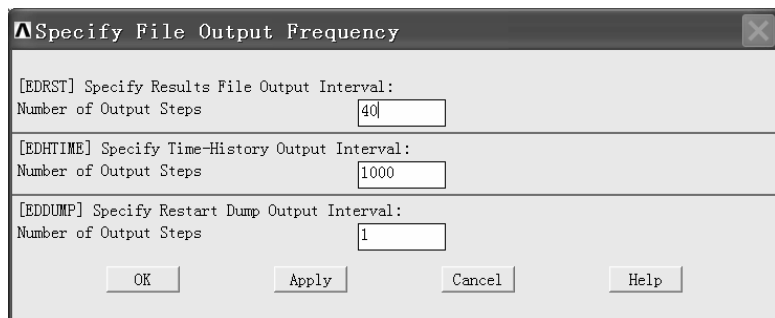


图 4-54 “Specify File Output Frequency”窗口

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后的方框中输入“40”, 在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“1000”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮。说明:“40”表示将整个持续时间(即“0.05”)分为 40 个均等的时间段, 每过一段时间保留一组计算结果(如所有单元的应力场、应变场、速度场等)。通常, 结果组数保留太多会占用很多存储空间;“1000”对于提取撞击力数据很有用。前面设置的“40”表示保存的整体数据(即所有单元的信息)的组数(其实有 42 组, 计算起始时有一组, 计算结尾时多出一组), 每一组数据都要用到较多的存储空间。“1000”表示在模拟过程中保存的接触力组数(其实有 1002 组), 单独保存撞击力用的存储空间很少。

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>ASCII Output, 弹出“ASCII Output”窗口(见图 4-55)。选中方框中的“Resultant forces”, 然后单击“OK”按钮。此处设置用于保存接触力的信息。

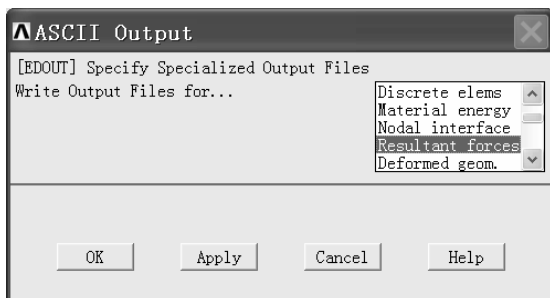


图 4-55 “ASCII Output”窗口

## 7. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口(见图 4-56)。

(2) 在“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中“Write results files for...”后的方框中选择“LS-DYNA”(单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击“Write input files to...”后的“Browse...”按钮, 弹出“Write input files to...”窗口(见图 4-57)。

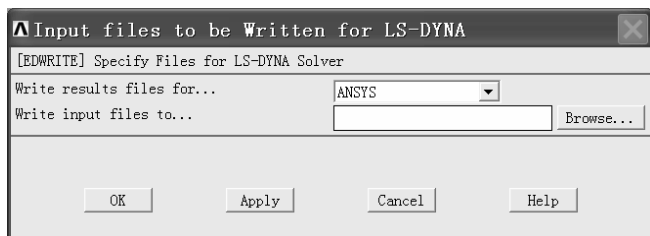


图 4-56 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

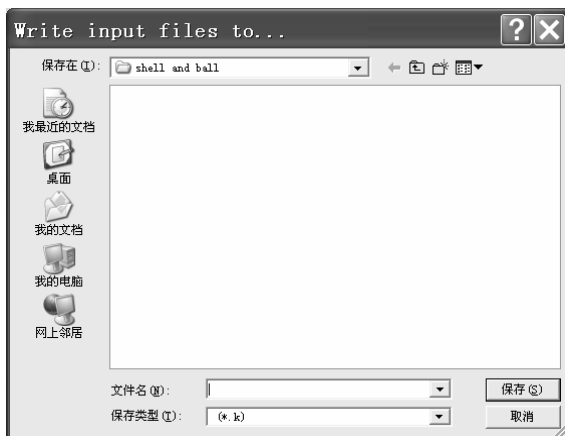


图 4-57 “Write input files to...” 窗口

(3) 在 “Write input files to...” 窗口中 “文件名 (N):” 后的方框中输入 “shell and ball.k”，然后单击 “保存” 按钮，然后再回到 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 4-58)。

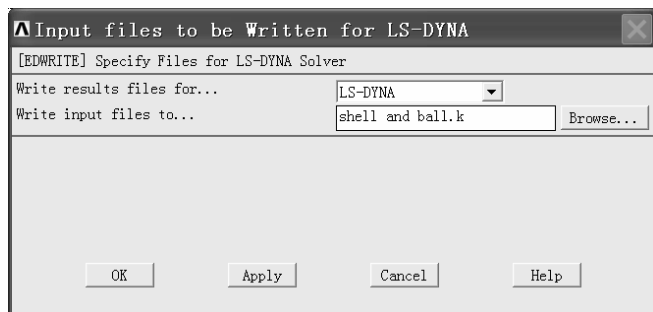


图 4-58 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中的 “OK” 按钮，弹出 “EDWRITE Command” 窗口 (见图 4-59)。

(5) 单击 “EDWRITE Command” 窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出 “Exit from ANSYS” 窗口 (见图 4-60)。

(7) 单击 “Exit from ANSYS” 窗口中 “Save Everything” 前面的单选框，再单击该窗口中的 “OK” 按钮。

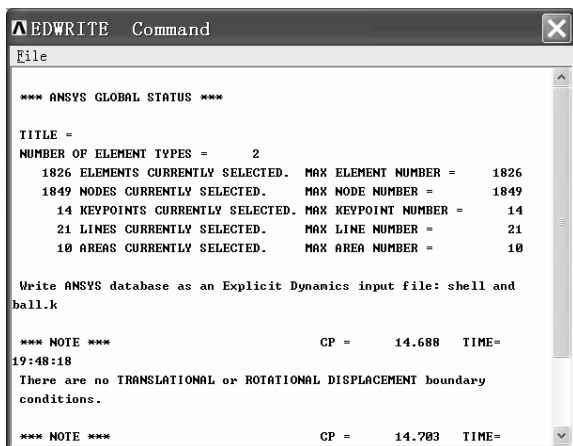


图 4-59 “EDWRITE Command” 窗口

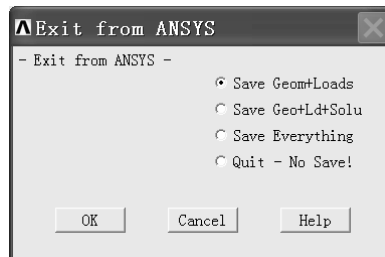


图 4-60 “Exit from ANSYS” 窗口

## 8. 求解

(1) 打开 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口（见图 4-61）。

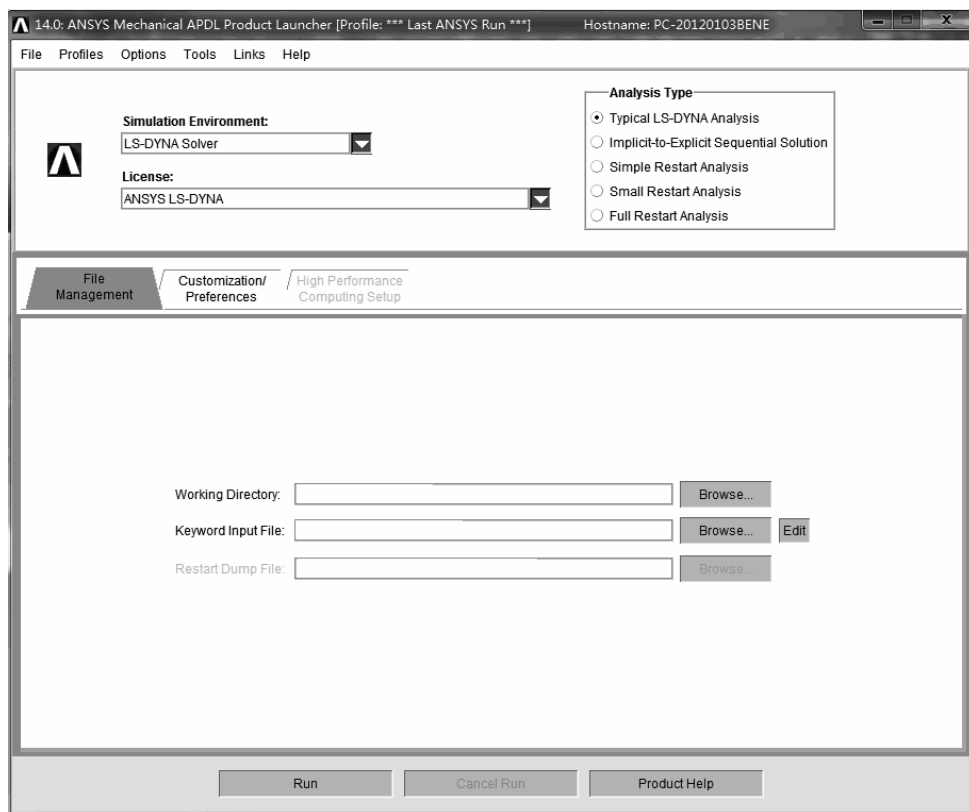


图 4-61 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(2) 单击 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口中 “Simulation Environment:” 方框后的倒立三角形图标，选中 “LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标,选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Working Directory:”后的方框中找出“D:\CH4\shell and ball”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Keyword Input File:”后的方框中找出“D:\CH4\shell and ball”目录下的“shell and ball.k”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Customization Preferences”(见图 4-62),在“Memory (words):”方框后输入“300 000 000”,即给计算分配内存,当模型较大时需要设置此项。具体数据视模型大小与计算机性能而定。在“Number of CPUs:”后选择“2”(单击后面的三角形来增加)。此项表示分配给计算的 CPU 数目。当需要同时计算多个 K 文件时需要设置此项,然后单击“Run”按钮。

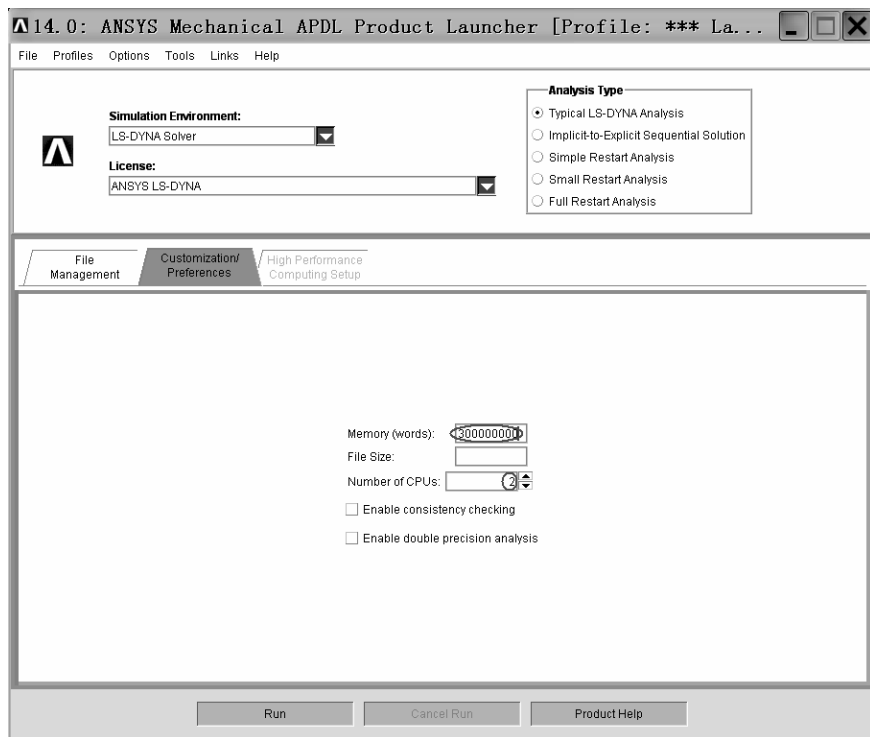


图 4-62 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口

## 9. 后处理

(1) 当计算完成后(没完成也可以),双击 LS-PREPOST 图标(见图 4-63),打开 LS-PREPOST 操作界面(见图 4-64)。

(2) 单击 LS-PREPOST 操作界面上部的“Background”下拉菜单,再单击“Plain”,将背景变为白色(见图 4-65)。

(3) 单击操作界面左上角的 File 下拉菜单、依次打开“Open”→“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”(见图 4-66),弹出“Open File”窗



图 4-63 LS-PREPOST 后处理器图标

口，打开“D:\Ch4\shell and ball”目录下的“d3plot”文件。

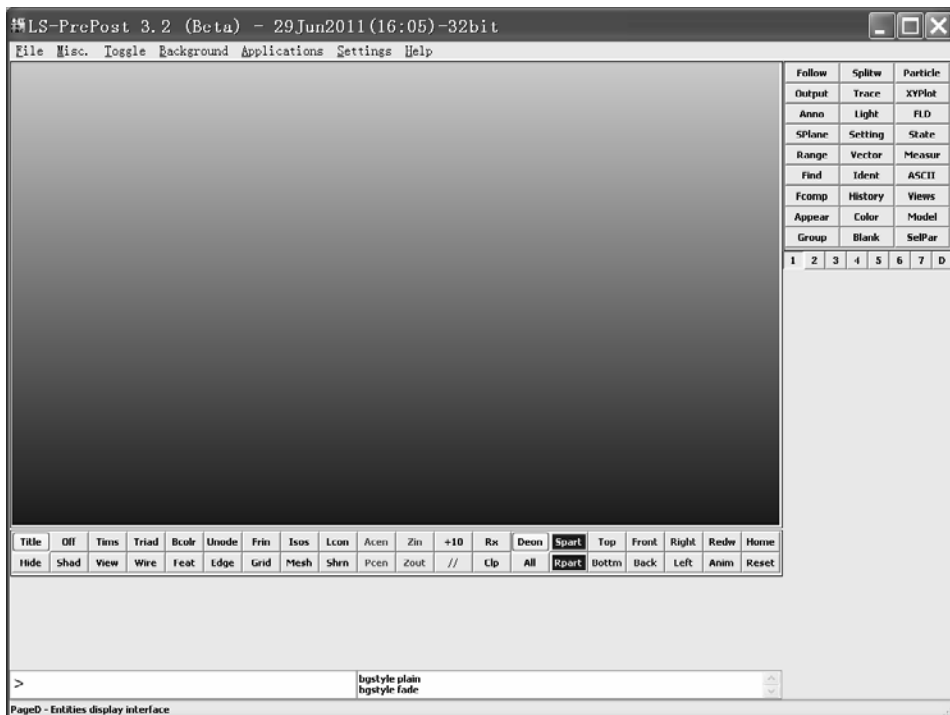


图 4-64 LS-PREPOST 操作界面

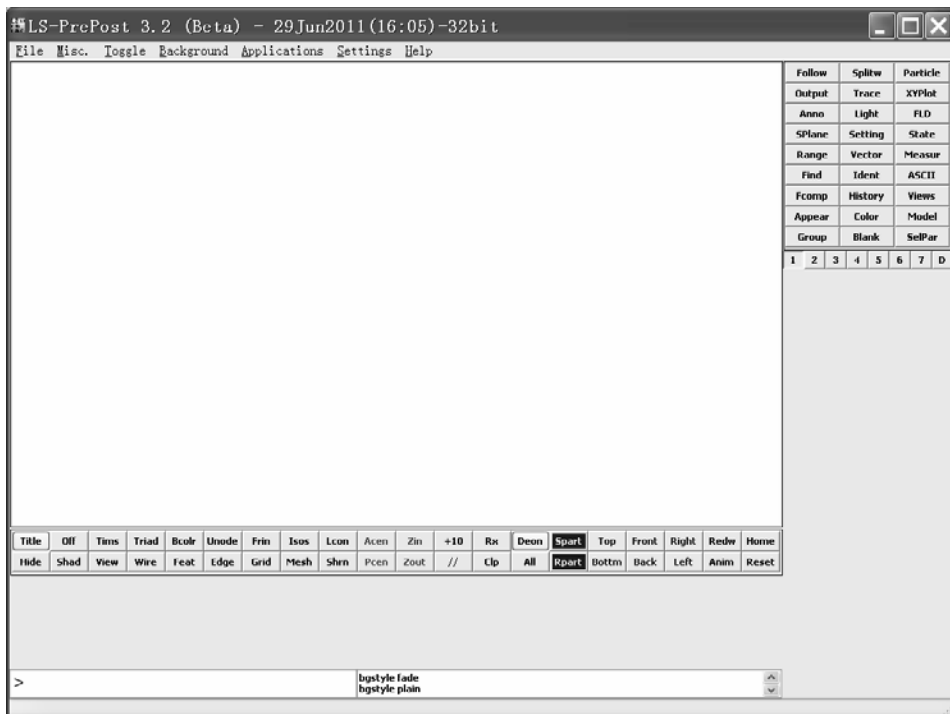


图 4-65 LS-PREPOST 操作界面



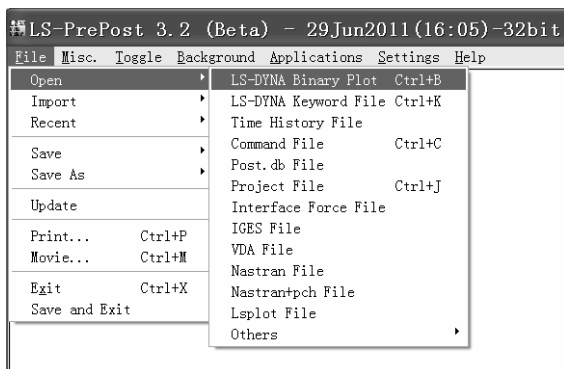


图 4-66 打开计算结果文件

(4) 图形窗口中出现柱壳与球壳模型 (见图 4-67)。图中显示了 A 圆筒、B 梁板和 C 梁板的正面视图。

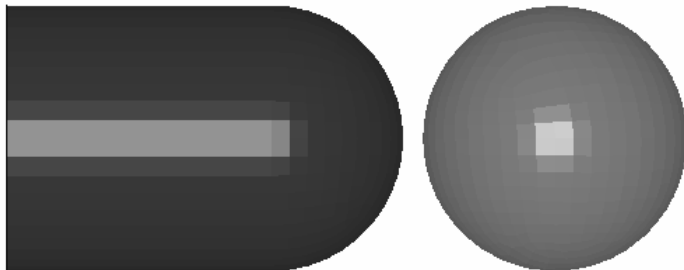


图 4-67 柱壳与球壳

(5) 如图 4-68 所示, 单击“ASCII”, 再单击“rcforc”, 再单击“Load”, 以上操作用来导入接触力数据。

(6) 如图 4-69 所示, 单击选中“Sl-1:Contact#”, 再单击“1-X-force”, 再单击“Plot”, 弹出接触力沿 X 方向分量随时间的变化曲线 (见图 4-70)。

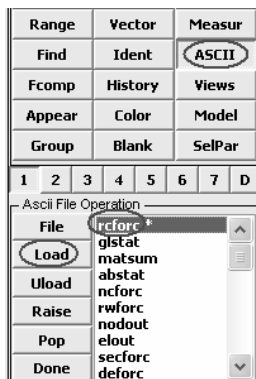


图 4-68 导入接触力



图 4-69 导出沿 X 方向的接触力

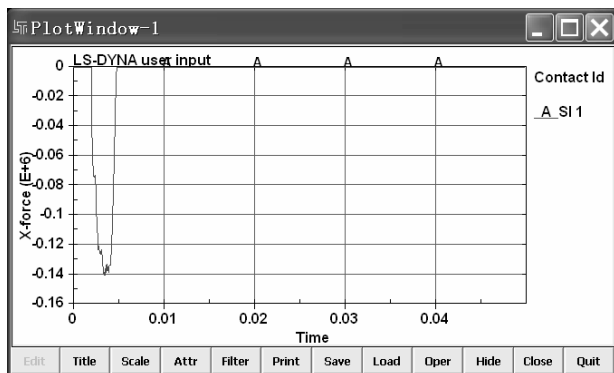


图 4-70 接触力随时间的变化

## 4.9 工程实例 3——控制沙漏

本实例主要演示模拟中设置多个接触对的方法，并且介绍控制沙漏的方法。这里所谓的沙漏是指 ANSYS LS-DYNA 中实体单元、壳单元发生的高频振荡，这种振荡不是物理中存在的，而是数学计算上导致的（见图 4-71）。模拟分析必须将沙漏效应控制在适当程度，这样才能获得较为准确的计算结果。通常，网格划分得精细可以很好地控制沙漏效应；此外，加入人工黏性也可以有效地控制沙漏效应。



图 4-71 未变形的网格与因沙漏模式而变形的网格

如图 4-72 所示，图中有三个空心球体，甲球以 5m/s 的速度沿 X 方向撞击乙球和丙球。要求：计算各球间的撞击力，并对网格进行沙漏控制。

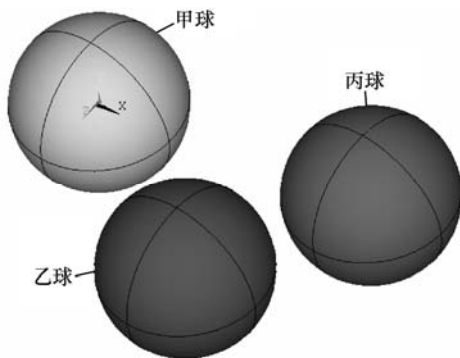
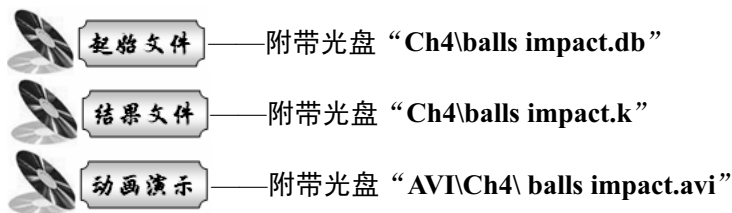


图 4-72 三个空心球壳



将光盘中 “Ch4” 目录下的 “balls impact.db” 文件复制到计算机 “D:\Ch4\balls impact” 目录下。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在 “开始” 菜单中指向 “ANSYS 14.0” 文件夹，出现 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标（见图 4-73）。单击 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标，弹出 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口（见图 4-74）。

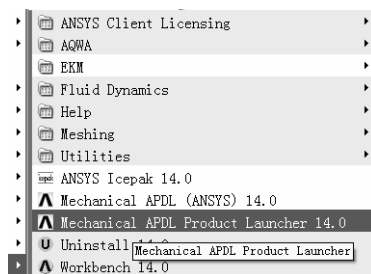


图 4-73 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标

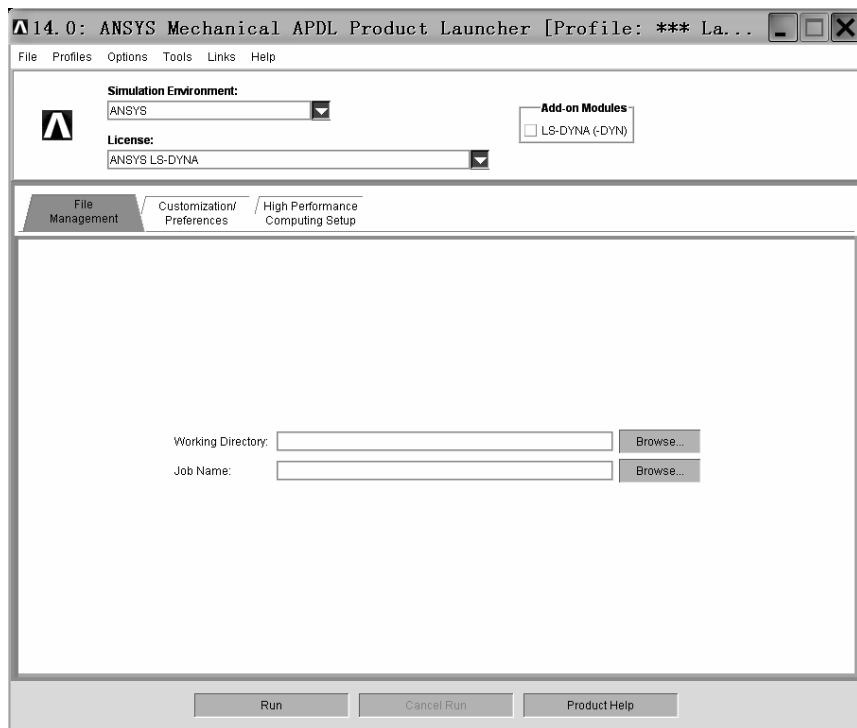


图 4-74 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch4\balls impact”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch4\balls impact”目录中的“balls impact.db”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮, 弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-DYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮(见图 4-75), 打开“D:\Ch4\balls impact”目录中的“balls impact.db”文件。打开该文件后图形界面中显示出划分单元后的三个球壳。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将图形窗口的背景变为白色, 以便后续操作中更清楚地观看视图(见图 4-76)。

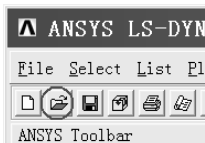


图 4-75 “OPEN ANSYS File”按钮

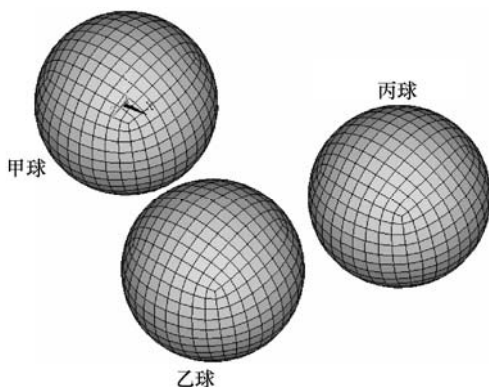


图 4-76 三个球壳

## 2. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 4-77)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变, 单击该窗口中的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口(见图 4-78)。窗口中显示模型共生成了 3 个 Part。其中 Part1 为甲球; Part2 为乙球; Part3 为丙球。这些 Part 中的单元唯一不同之处是: 它们的单元类型号(即“TYPE”)不同。

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 3. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口(见图 4-79)。

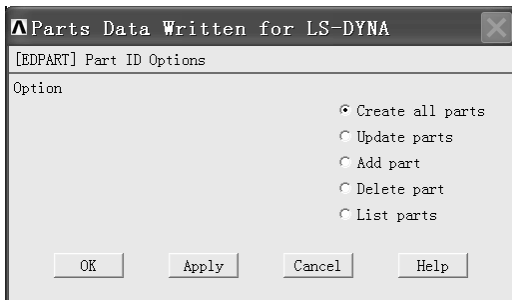


图 4-77 “Parts Data Written for LS-DYNA” 窗口

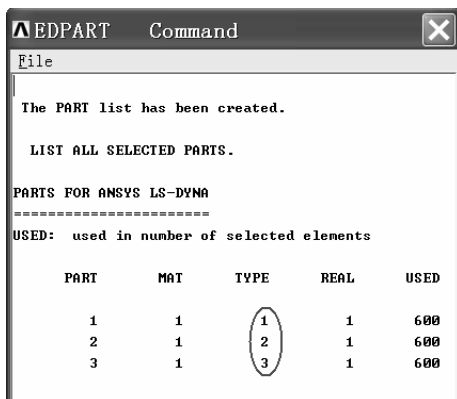


图 4-78 “EDPART Command” 窗口

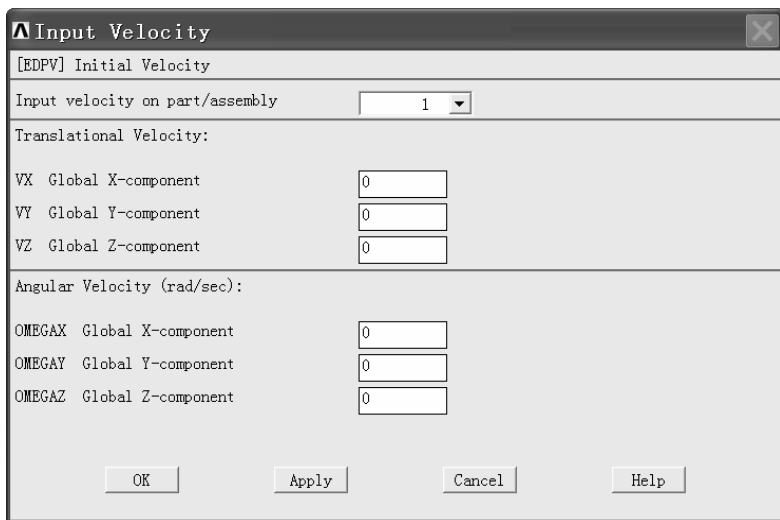


图 4-79 “Input Velocity” 窗口

(2) 在“Input Velocity”中“Input velocity on part/assembly”后的方框中选择“1”（即给 Part1，也就是甲球施加初速度），在“VX Global X-component”后的方框中输入“5”，然后单击“OK”按钮。

#### 4. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact，弹出“Contact Parameter Definitions”窗口（见图 4-80）。

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Contact Type”后的第一个方框中选择“Surface to Surf”（选中后背景为蓝色），在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic (ASTS)”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Static Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Dynamic Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”，然后单击该窗口中的“OK”按钮，弹出“Contact Options”窗口（见图 4-81）。

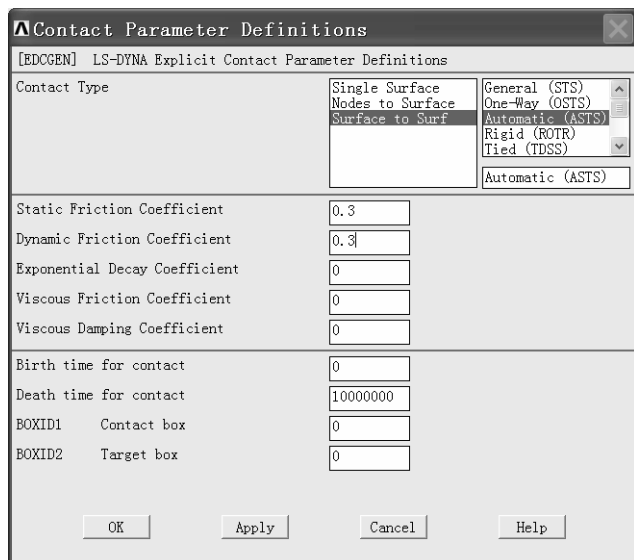


图 4-80 “Contact Parameter Definitions” 窗口

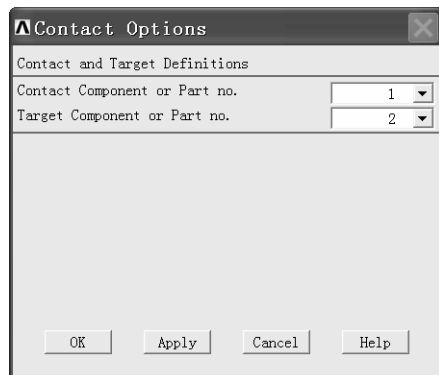


图 4-81 “Contact Options” 窗口

(5) 在“Contact Component or Part no.”后选择“1”；在“Target Component or Part no.”后选择“2”（以上操作表示在甲球和乙球之间设置面面自动接触），然后单击“Apply”按钮，又弹出“Contact Parameter Definitions”窗口。

(6) 单击“Contact Parameter Definitions”窗口中的“OK”按钮，又弹出“Contact Options”窗口。

(7) 在“Contact Component or Part no.”后选择“1”；在“Target Component or Part no.”后选择“3”，然后单击“Apply”按钮，再次弹出“Contact Parameter Definitions”窗口。

(8) 单击“Contact Parameter Definitions”窗口中的“OK”按钮，再次弹出“Contact Options”窗口，在“Contact Component or Part no.”后选择“2”，在“Target Component or Part no.”后选择“3”，然后单击“OK”按钮。

(9) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮（见图 4-82），保存文件。

## 5. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time，弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 4-83）。

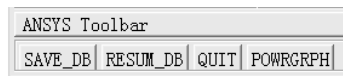


图 4-82 工具条

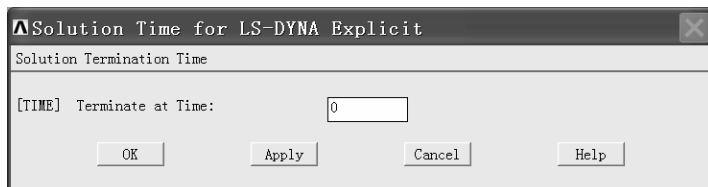


图 4-83 “Solution Time for LS-DYNA Explicit” 窗口

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.02”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types，弹

出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口（见图 4-84）。

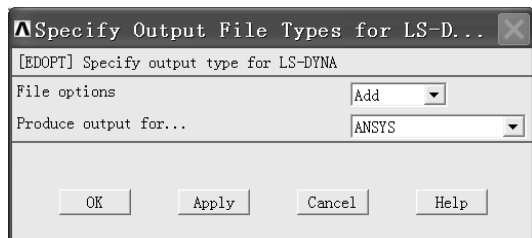


图 4-84 “Specify Output File Types for LS-D...”窗口

（4）在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”（单击该方框后的倒立三角形来选择）。在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”（单击该方框后的倒立三角形来选择），然后单击该窗口中的“OK”按钮。

（5）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps，弹出“Specify File Output Frequency”窗口（见图 4-85）。

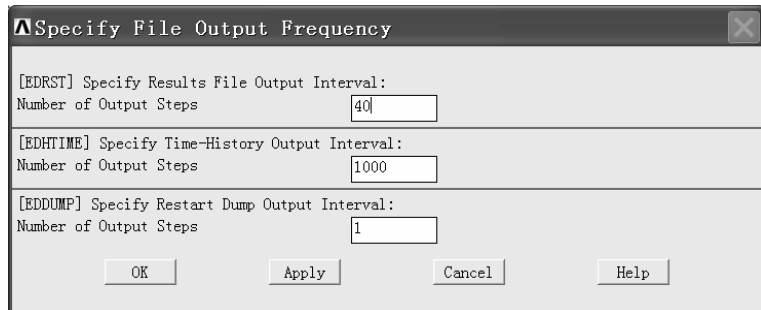


图 4-85 “Specify File Output Frequency”窗口

（6）在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后的方框中输入“40”，在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“1000”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

（7）依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>ASCII Output，弹出“ASCII Output”窗口（见图 4-86）。选中方框中的“Resultant forces”和“Material energy”，然后单击“OK”按钮。说明：“Resultant forces”表示记录撞击力数据，“Material energy”表示记录各种能量数据（如内能、动能、沙漏能等）。

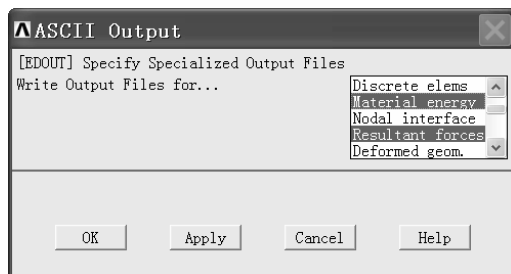


图 4-86 “ASCII Output”窗口

## 6. 沙漏控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Analysis>Hourglass>Global, 弹出“Hourglass Controls”窗口(见图 4-87)。

(2) 保持“Hourglass Controls”窗口中的设置不变, 单击“OK”按钮。

## 7. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口(见图 4-88)。

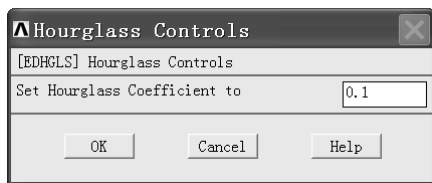


图 4-87 “Hourglass Controls”窗口

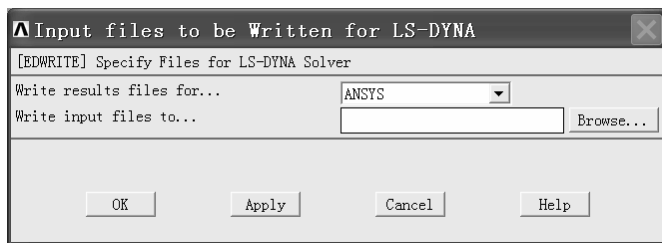


图 4-88 “Input files to be Written for LS-DYNA”窗口

(2) 在“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中“Write results files for...”后的方框中选择“LS-DYNA”(单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击“Write input files to...”后的“Browse...”按钮, 弹出“Write input files to...”窗口(见图 4-89)。

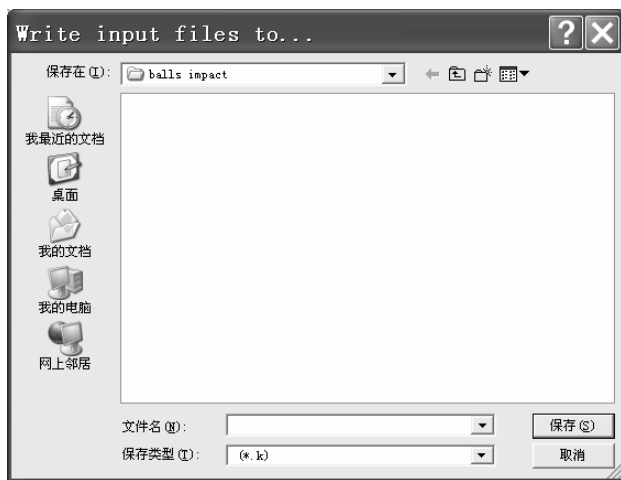


图 4-89 “Write input files to...”窗口

(3) 在“Write input files to...”窗口中“文件名(N):”后的方框中输入“balls impact.k”, 然后单击“保存”按钮, 然后再回到“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口(见图 4-90)。

(4) 单击“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中的“OK”按钮, 弹出“EDWRITE Command”窗口(见图 4-91)。

(5) 单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面, 弹出“Exit from ANSYS”窗口(见图 4-92)。



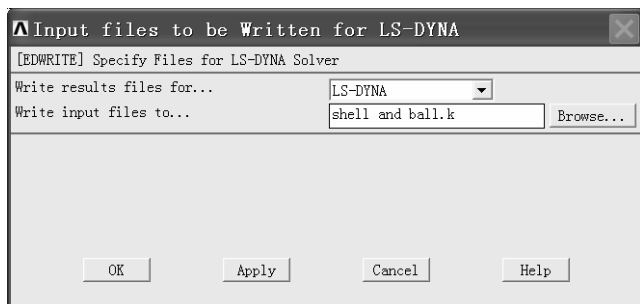


图 4-90 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

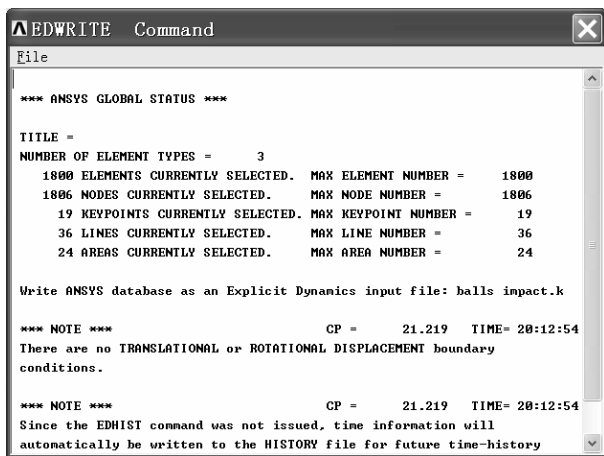


图 4-91 “EDWRITE Command” 窗口

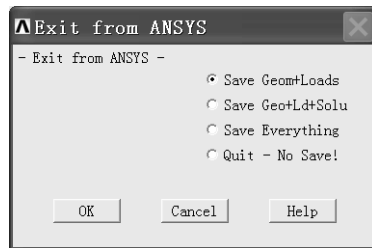


图 4-92 “Exit from ANSYS” 窗口

(7) 选中“Exit from ANSYS”窗口中的“Save Everything”，再单击该窗口中的“OK”按钮。

## 8. 求解

(1) 打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 4-93）。

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Working Directory:”方框中找到“D:\CH4\balls impact”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Keyword Input File:”方框中找出 D:\CH4\balls impact”目录下的“balls impact.k”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Customization Preferences”（见图 4-94），在“Memory (words):”方框后输入“300 000 000”，在“Number of CPUs:”后的方框中选择“2”。以上两个数据根据模型大小与计算机性能而定，然后单击“RUN”按钮。

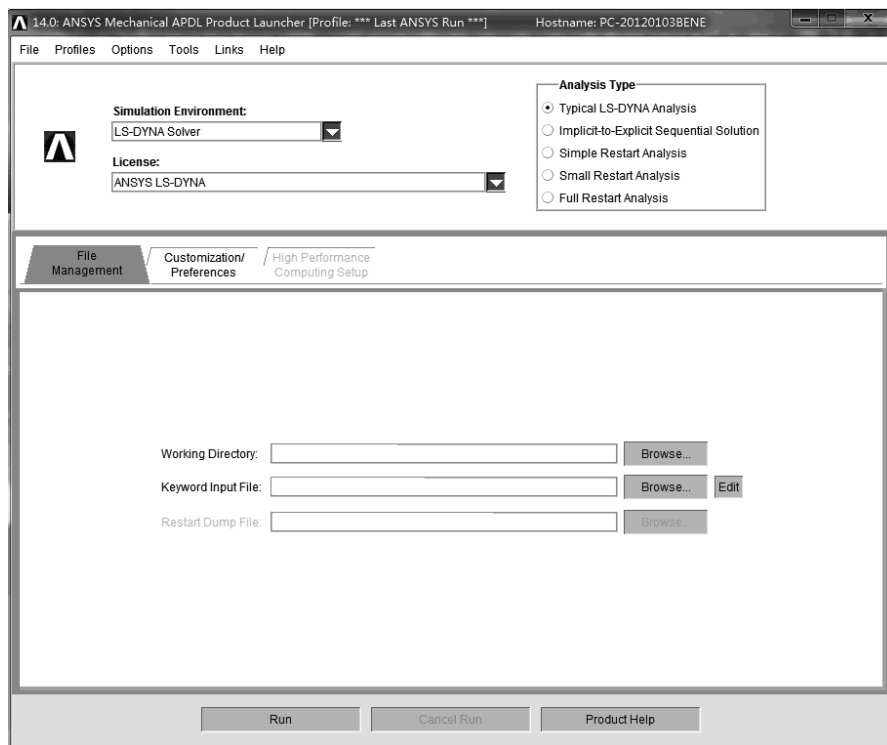


图 4-93 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

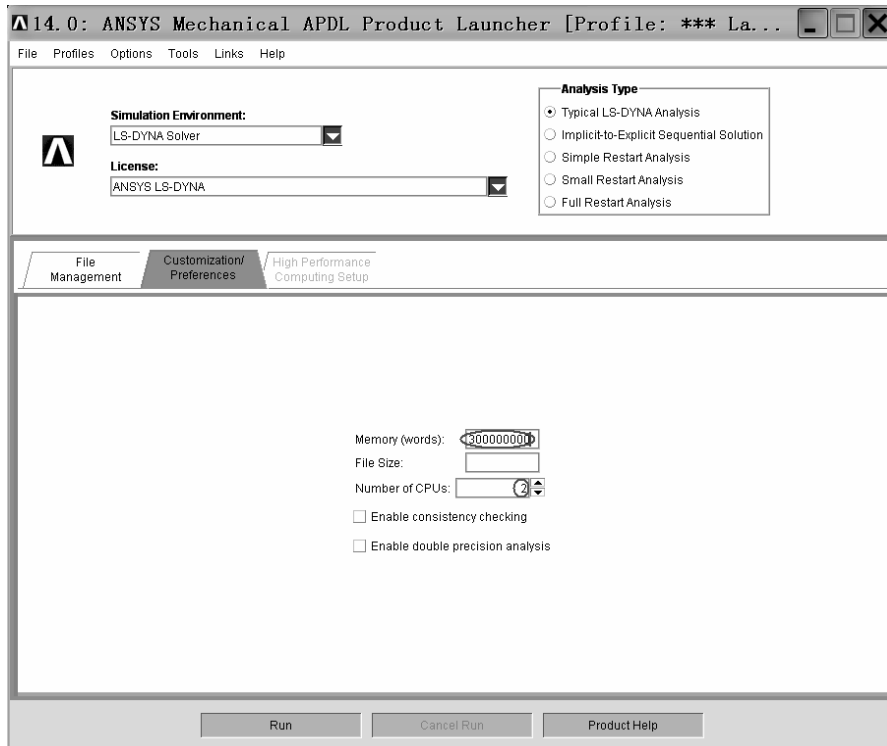


图 4-94 “ANSYS Product Launcher” 窗口

## 9. 后处理

(1) 当计算完成后（没完成也可以），双击 LS-PREPOST 图标（见图 4-95），打开 LS-PREPOST 后处理器。

(2) 单击 LS-PREPOST 操作界面上部“Background”下拉菜单，再单击“Plain”，将背景变为白色（见图 4-96）。

(3) 单击操作界面左上角的 File 下拉菜单，依次打开“Open”→“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”（见图 4-97），弹出“Open File”窗口，打开“D:\Ch4\balls impact”目录下的“d3plot”文件。



图 4-95 LS-PREPOST 后处理器图标

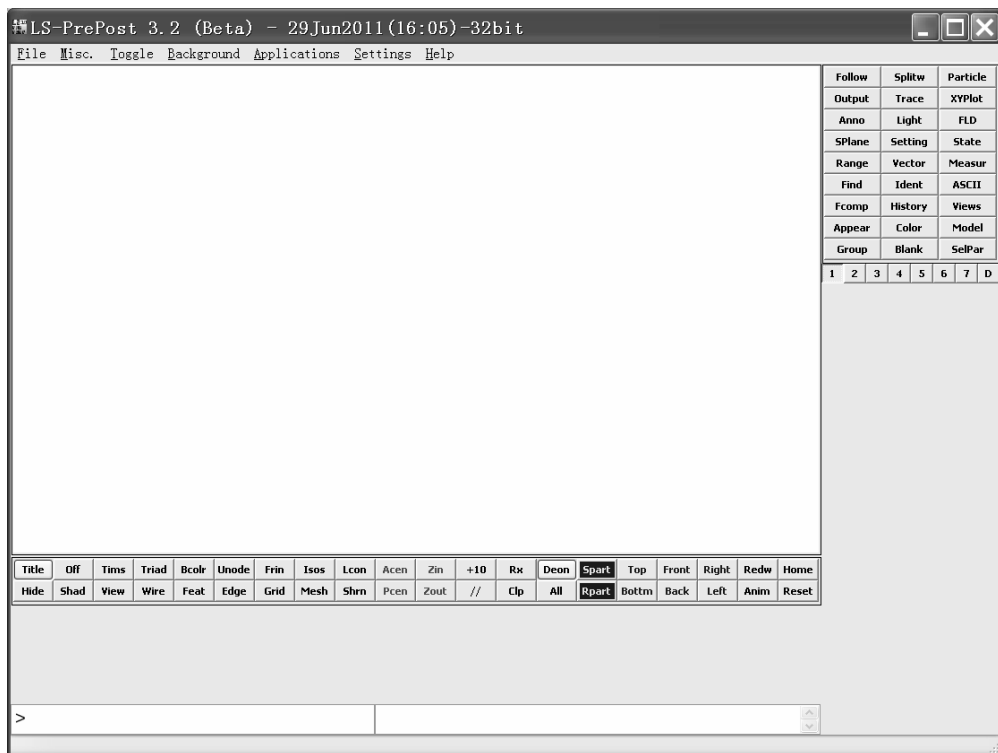


图 4-96 LS-PREPOST 操作界面

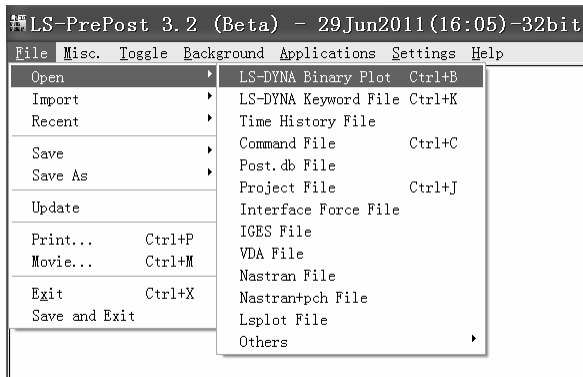


图 4-97 打开计算结果文件

(4) 图形窗口中出现三个球壳（见图 4-98）。

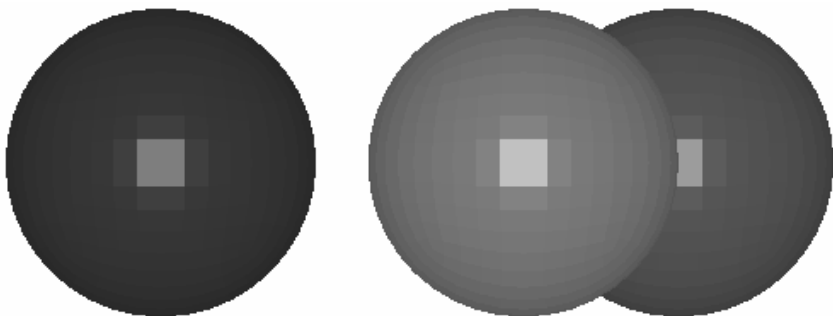


图 4-98 三个球壳

(5) 如图 4-99 所示，先单击“ASCII”，然后单击“rforc”，最后单击“Load”，以上操作用来导入接触力的数据。

(6) 如图 4-100 所示，单击选中“SI-1:Contact#”，再单击“1-X-force”，再单击“Plot”，弹出接触力沿 X 方向分量随时间的变化（见图 4-101），图 4-100 中“4-Resultant Force”表示合力。注意：这里“SI-1:Contact#”与“Ma-1:Contact#”为大小相等方向相反的力，它们表示一对接触中的相互作用力。本例中“SI-1:Contact#”为第一组接触（甲、乙两球相互作用）对应的接触力。

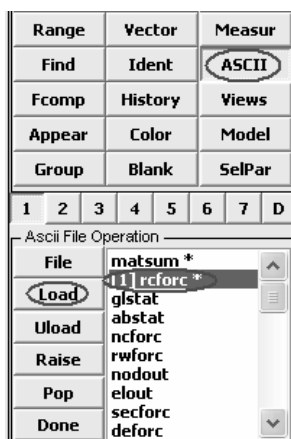


图 4-99 导入接触力数据



图 4-100 导出沿 X 方向的接触力

(7) 如图 4-102 所示，首先单击“ASCII”，然后单击“mastum\*”，最后单击“Load”。以上操作导入模型中的各种能量数据。

(8) 如图 4-103 所示，单击选中“1”（选出 Part1，即甲球），再单击“1-Internal Energy”（材料的内能），再按住键盘上的“Ctrl”键同时单击“3-Hourglass Energy”（即材料的沙漏能），然后单击“Plot”按钮，弹出“PlotWindow-1”窗口（见图 4-104）。该窗口显示了 Part1 的内能与沙漏能。

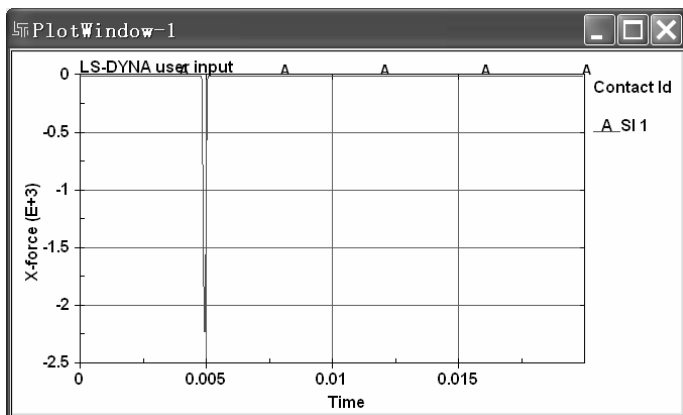


图 4-101 接触力随时间的变化



图 4-102 导入能量数据



## 应用 · 技巧

沙漏会影响六面体单元、四边形的板壳单元及四边形的二维单元，但不影响三角形的板壳单元、三角形的二维单元及梁单元。作为一个总的指导，沙漏能不当超过内能的 10%。为了确保分析的可靠性，务必记录下沙漏能数据（使用 ASCII 文件记录）并在模拟结束后查看它们。

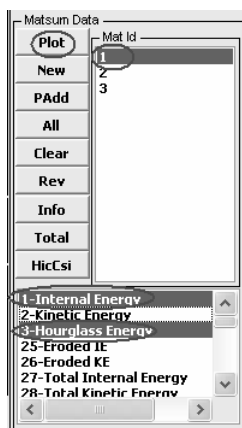


图 4-103 导入甲球的能量数据

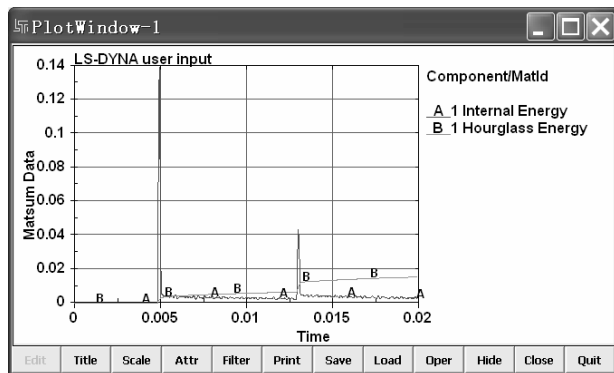
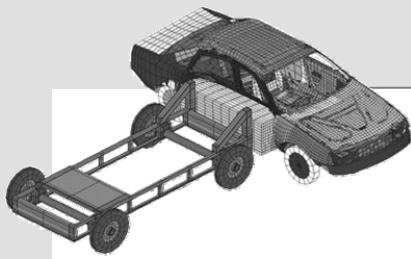


图 4-104 甲球的内能与沙漏能

## 4.10 小结

本章主要介绍了在 ANSYS LS-DYNA 模块下设置常用接触的方法及提取接触力的方法。使用面面自动接触可以方便地获得各接触面之间的作用力。合理使用 Part 或 Component 可以便于设置接触、施加初始速度等。在模拟过程中，使用者必须进行沙漏控制，以保证计算结果的有效性。控制沙漏常用的有效方法有划分高质量网格及使用 ANSYS LS-DYNA 中的沙漏控制命令。



## 第 5 章 载 荷

在数值仿真过程中常常会遇到需要给某些模型施加随时间变化的载荷的情况，比如，给地基施加一个强迫位移（模拟地震波等），给冲压机施加一个冲压速度，给高大的建筑物施加一个重力场等。在实际工程中涉及时变载荷的情况极为普遍。本章介绍 LS-DYNA 中的载荷随时间变化的作用，并演示在 ANSYS LS-DYNA 模块中设置常用载荷的方法。



### 本章内容

- 载荷的类型
- 载荷数组的建立

- 施加载荷的方法

## 5.1 载荷的分类

LS-DYNA 中的载荷主要分为力、力矩、位移、转动角度、速度、角速度、加速度、基本加速度、温度。在 LS-DYNA 中这些载荷主要作用于节点或刚体，其详细介绍如下。

适用于节点的载荷：

FX, FY, FZ 力（沿各坐标轴方向）；

MX, MY, MZ 力矩；

UX, UY, UZ 位移；

ROTX, ROTY, ROTZ 转动角度；

VX, VY, VZ 速度；

OMGX, OMGY, OMGZ 角速度；

AX, AY, AZ 节点加速度；

AC LX, ACLY, ACLZ 体加速度；

TEMP 温度。

适用于刚体的载荷：

RBFX, RBFY, RBFZ 力；

RBMX, RBMY, RBFZ 力矩；

RBUX, RBUY, RBUZ 位移；

RBRX, RBRY, RBRZ 转动角度；

RBVX, RBVY, RBVZ 速度；

RBOX, RBOY, RBOZ 角速度。

## 5.2 建立载荷数组

在 LS-DYNA 中给模型施加载荷即是给模型施加随时间变化的作用。如图 5-1 所示，一根方形截面细杆的右端面受到一个随时间变化的速度的拉伸。该速度随时间的变化曲线如图 5-2 所示（无特殊说明，采用 kg-m-s 制国际单位）。要怎样定义出这样的速度-时间载荷曲线呢？这里只需定义出三个关键点 (0, 0), (1, 1), (2, 1)，依次连接这三个点（即用插值法）就能给出任意时刻的速度值。在 ANSYS LS-DYNA 中，操作者只需定义一个时间数组 {0, 1, 2} 和一个速度数组 {0, 1, 1} 就能定义出该载荷曲线。具体操作步骤见本章实例。

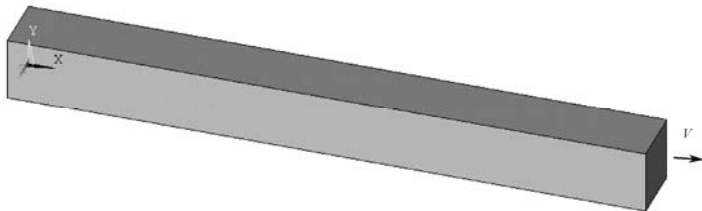


图 5-1 杆的右端面受到一个变化速度的拉伸

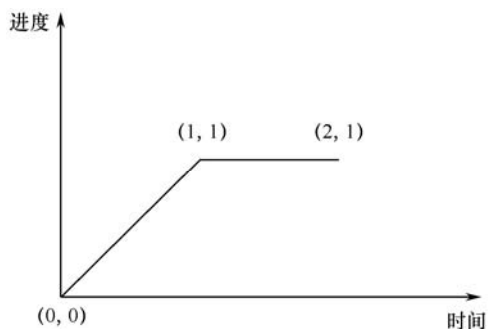


图 5-2 速度-时间曲线

### 5.3 给 Component 施加载荷

给节点施加载荷时通常需要将节点集成为一个 Component，然后再把载荷赋予给这个 Component。例如，模拟地震波对房屋的作用，可以先将地基上的节点集成为一个 Component，然后再对该 Component 施加强迫位移、速度或加速度等。在模型上的各部分建立 Component 是比较方便的。操作者可以分别给不同的 Component 施加载荷，从而将比较复杂的载荷施加到模型上。如图 5-3 所示，可以用多个矩形载荷（施加在不同的 Component 上）近似地模拟三角形载荷。通常不能直接使用 Part 来设置节点上的载荷。

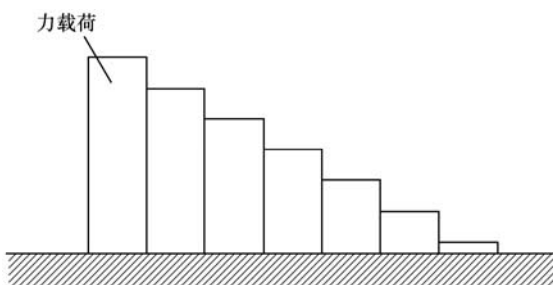


图 5-3 用多段矩形载荷模拟三角形载荷

### 5.4 给刚体施加载荷

给刚体施加载荷的方法比较简单，可以直接对刚体的 Part 设置载荷。刚体只有六个自由度，其使用的计算资源很少。正因为给刚体施加载荷简单，分析中常常将许多模型简化为刚体，比如，有时将热轧轧辊视为刚体。对刚体的专门介绍见本书第 6 章。对刚体施加载荷的步骤见本章实例。

### 5.5 删除载荷

在 LS-DYNA 中，多余的载荷或不当的载荷必须排除。操作者可以删除指定的一组载



荷，也可以一次性删除所有载荷。删除载荷的操作路径如下。

Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Loading Options>Delete Loads>Delete All;

Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Delete Loads>Delete Individ 此为删除特定的载荷；

Main Menu>Solution>Loading Options>Delete Loads>Delete All;

Main Menu>Solution>Loading Options>Delete Loads>Delete Individ 此为删除特定的载荷。

## 5.6 工程实例 1——应力波在杆中的传播

本实例演示建立载荷数组的方法，以及给节点施加速度载荷的方法（给节点施加其他载荷的方法类似）。附带光盘中给出一个起始文件，该文件中有一根长 1m 的钢质线弹性的方形截面细杆，且该杆已完成网格划分。要求给方杆的右端施加一个速度载荷，并观察应力波在杆中的传播过程。速度-时间曲线如图 5-4 所示（使用 kg-m-s 制国际单位）。

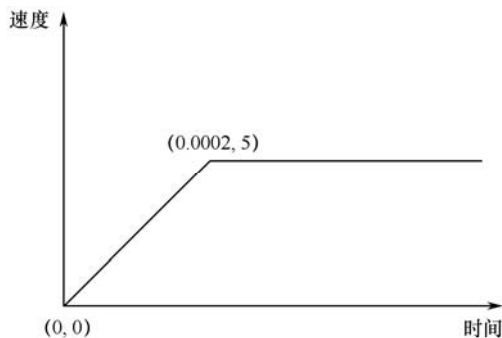


图 5-4 速度-时间曲线



起始文件

——附带光盘 “Ch5\pull bar.db”



结果文件

——附带光盘 “Ch5\ pull bar.k”

将光盘中“Ch5”目录下的“pull bar.db”文件复制到计算机“D:\Ch5\pull bar”目录下。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 5-5）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 5-6）。

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch5\pull bar”目录。

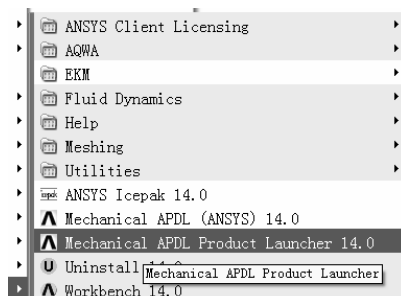


图 5-5 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标

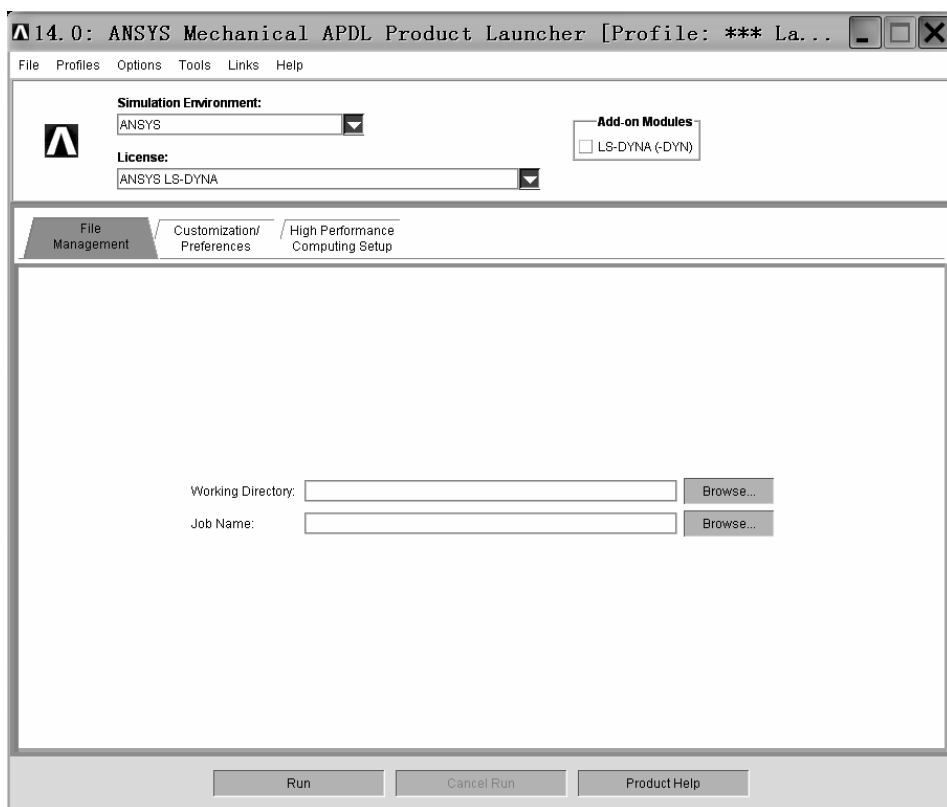


图 5-6 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch5\pull bar”目录中的“pull bar.db”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮，弹出 ANSYS LS-NYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-NYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮（见图 5-7），打开“D:\Ch5\pull bar”目录中的“pull bar.db”文件。打开该文件后图形窗口中显示出划分单元后的方杆。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将图形窗口的背景变为白色，以便后续操作中更清楚地观看视图（见图 5-8）。

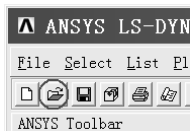


图 5-7 “OPEN ANSYS File”按钮

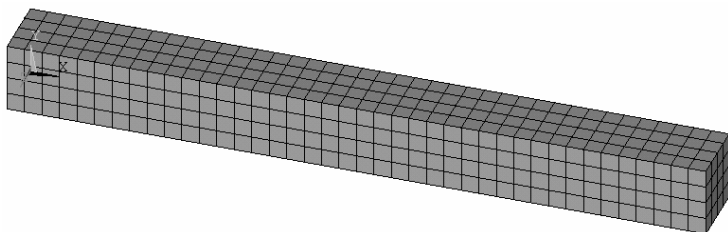


图 5-8 方杆

## 2. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 5-9)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变, 单击该窗口中的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口(见图 5-10)。

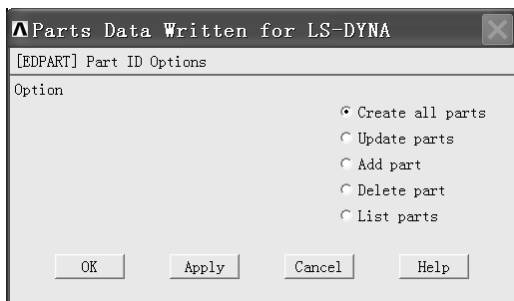


图 5-9 “Parts Data Written for LS-DYNA”窗口

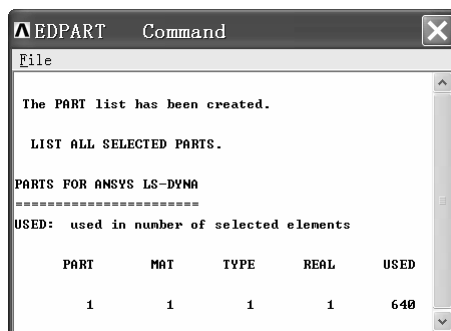


图 5-10 “EDPART Command”窗口

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 3. 建立载荷数组

(1) 依次选择 Utility Menu>Parameters>Array Parameters>Define/Edit..., 弹出“Array Parameters”窗口(见图 5-11)。

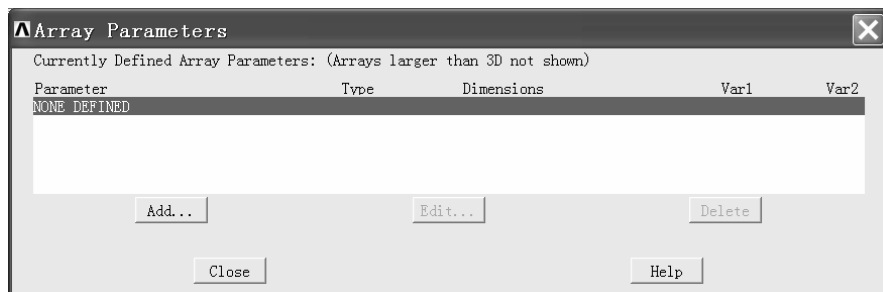


图 5-11 “Array Parameters”窗口

(2) 单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮, 弹出“Add New Array Parameter”窗口(见图 5-12)。在“Parameter name”后的方框中输入“TIME”, 即给数组取个名字; 在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“3”, 表示该数组中有 3 个元

素, 然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口。

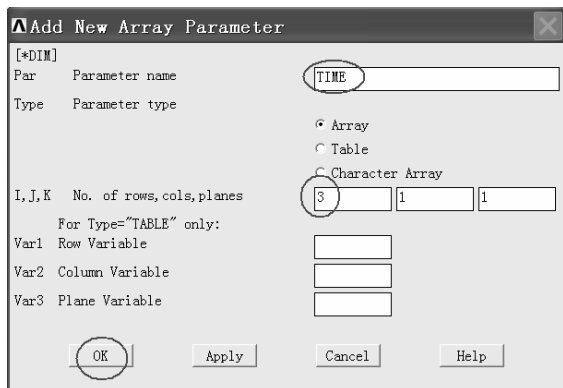


图 5-12 “Add New Array Parameter” 窗口

(3) 继续单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮, 再次弹出“Add New Array Parameter”窗口。在“Parameter name”后的方框中输入“VELOCITY”(见图 5-13); 在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“3”, 然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口。

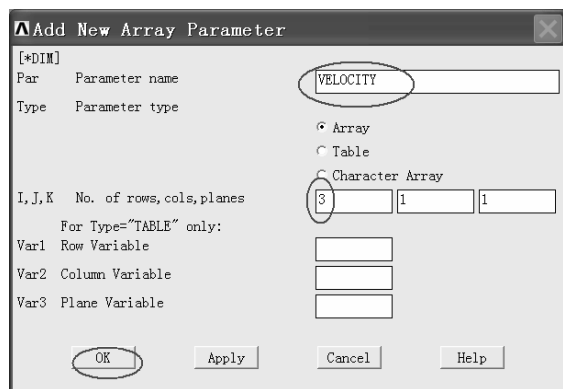


图 5-13 “Add New Array Parameter” 窗口

(4) 单击“Array Parameters”窗口中的“TIME”, “TIME”背景变为蓝色, 表示被选中(见图 5-14), 然后单击“Edit...”按钮, 弹出“Array Parameter TIME”窗口(见图 5-15)。

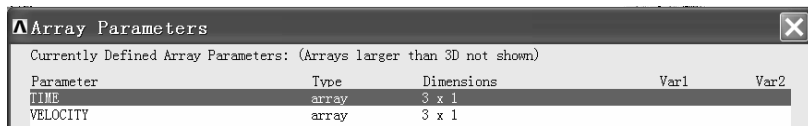


图 5-14 “Array Parameters” 窗口

(5) 在“Array Parameter TIME”窗口左下方的三个方框中依次填入“0”、“0.0002”、“1”。注: 钢材在一维应力下的弹性波速约为 5000m/s, 0.0002s 内, 弹性波传播的距离约为 1m, 即从杆的一端传到另一端。时间数组的最后一个元素设为“1”是为了让载荷设定的时间大于整个模拟计算的设定时间, 这样就能保证在整个计算过程中载荷都是确定可知的。

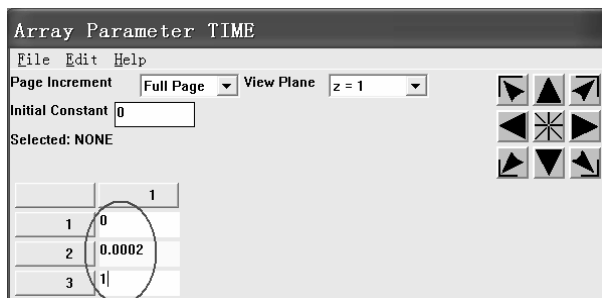


图 5-15 “Array Parameter TIME” 窗口

(6) 单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”，返回到“Array Parameters”窗口。

(7) 单击选中“Array Parameters”窗口中的“VELOCITY”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter VELOCITY”窗口（见图 5-16）。在“Array Parameter VELOCITY”窗口左下方的三个方框中依次填入“0”、“5”、“5”。

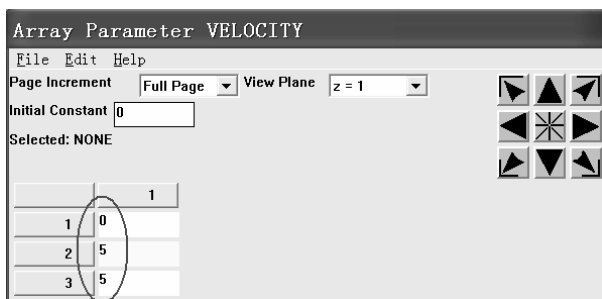


图 5-16 “Array Parameter VELOCITY” 窗口

(8) 单击“Array Parameter VELOCITY”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter VELOCITY”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”，返回到“Array Parameters”窗口。

(9) 单击“Array Parameters”窗口中的“Close”按钮关闭该窗口。

#### 4. 生成 Component

因为速度载荷拉伸细杆的右端面，所以首先需要将杆的右端面上的节点集合为一个 Component。

(1) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities...，弹出“Select...”窗口（见图 5-17）。在该窗口的第一个方框中选择“Areas”，在第二个方框中选择“By Num/Pick”，再选中“From Full”前的单选框，然后单击“OK”按钮，弹出“Select areas”窗口（见图 5-18）。

(2) 单击鼠标左键选择杆的右端面，然后单击“OK”按钮。

(3) 依次选择 Utility Menu>Entities...，弹出“Select...”窗口（见图 5-19）。在该窗口的第一个方框中选择“Nodes”，在第二个方框中选择“Attached to”，再选中“Areas, all”前的单选框，然后单击“OK”按钮。

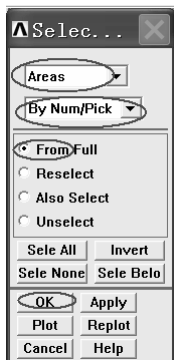


图 5-17 “Selec...” 窗口

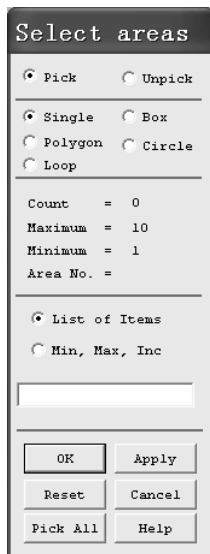


图 5-18 “Select areas” 窗口

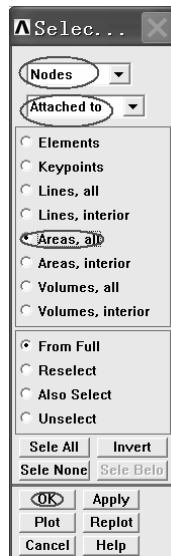


图 5-19 “Selec...” 窗口

(4) 依次选择 Utility Menu>Comp/Assembly>Create Component..., 弹出“Create Component”窗口(见图 5-20)。在“Component name”后的方框中输入“ABC”, 在“Entity Component is made of”后的方框中选择“Nodes”, 然后单击“OK”按钮。

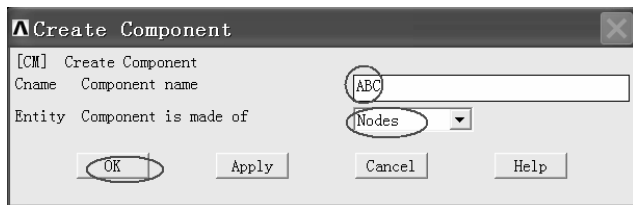


图 5-20 “Create Component” 窗口

(5) 依次选择 Utility Menu>Select>Everything。

## 5. 施加载荷

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Loading Options>Specify Loads, 弹出“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口(见图 5-21)。

(2) 在该窗口“Load Labels”后的方框中选择“VX”, 在“Component name or PART number:”后选择“ABC”, 在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”, 在“Parameter name for data values:”后选择“VELOCITY”, 然后单击“OK”按钮。

## 6. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time, 弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口(见图 5-22)。

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.0006”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮。注: 0.0006s 内, 应力波大约在杆中传播了三次。

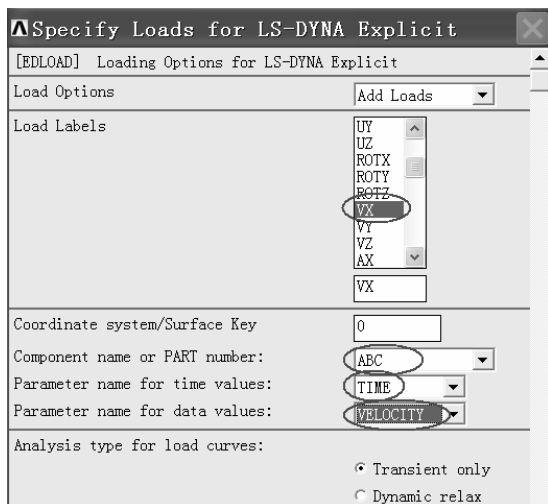


图 5-21 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口

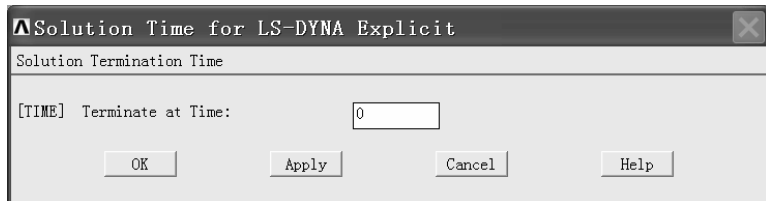


图 5-22 “Solution Time for LS-DYNA Explicit” 窗口

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types, 弹出 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口 (见图 5-23)。

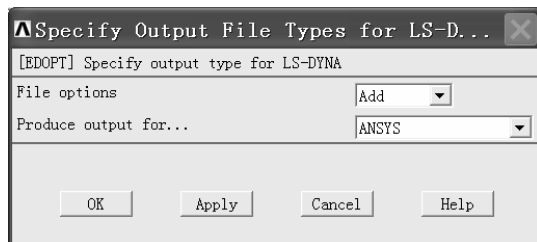


图 5-23 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口

(4) 在 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口中 “File options” 后的方框中选择 “Add”, 在 “Produce output for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA”, 然后单击该窗口中的 “OK” 按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps, 弹出 “Specify File Output Frequency” 窗口 (见图 5-24)。

(6) 在 “Specify File Output Frequency” 窗口中 “[EDRST] Specify Results File Output Interval:” 后的方框中输入 “40”; 在 “[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:” 后的方框中输入 “1000”, 然后单击该窗口中的 “OK” 按钮。

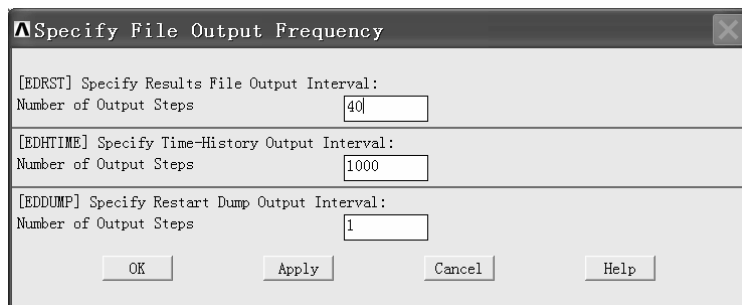


图 5-24 “Specify File Output Frequency” 窗口

## 7. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 5-25)。

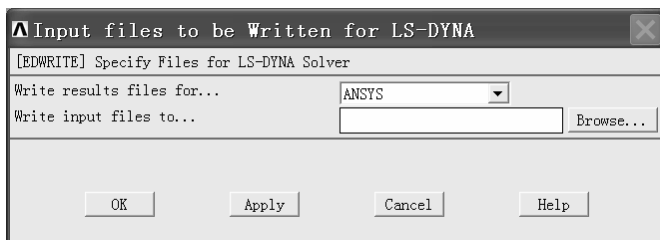


图 5-25 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(2) 在 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中 “Write results files for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA” (单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击 “Write input files to...” 后的 “Browse...” 按钮, 弹出 “Write input files to...” 窗口 (见图 5-26)。

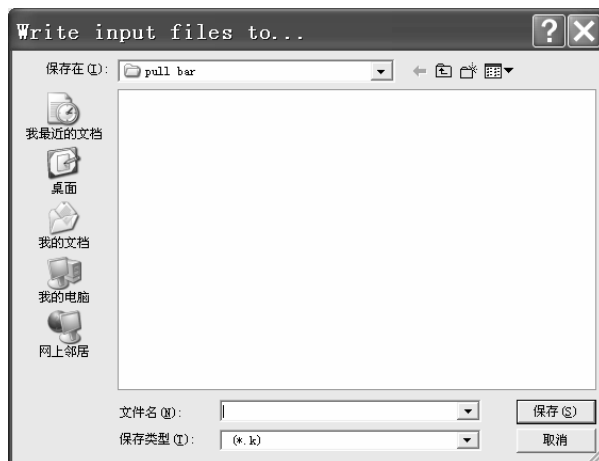


图 5-26 “Write input files to...” 窗口

(3) 在 “Write input files to...” 窗口中 “文件名 (N):” 后的方框中输入 “pull bar.k”, 然后单击 “保存” 按钮返回到 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 5-27)。



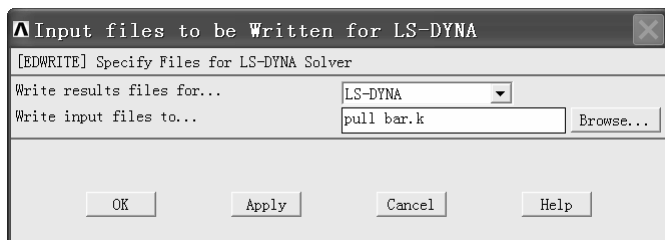


图 5-27 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中的 “OK” 按钮，弹出 “EDWRITE Command” 窗口（见图 5-28）。

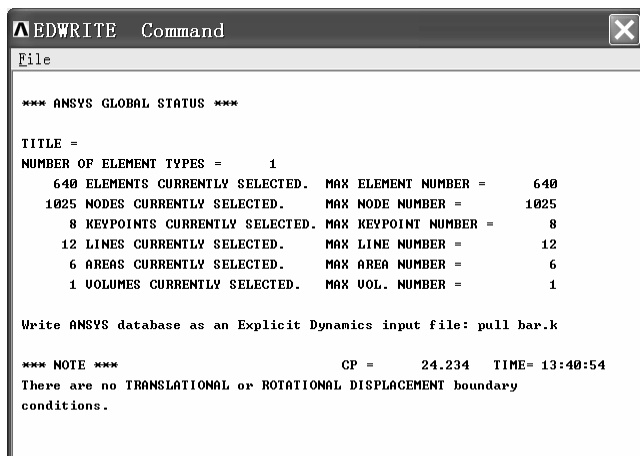


图 5-28 “EDWRITE Command” 窗口

(5) 单击 “EDWRITE Command” 窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出 “Exit from ANSYS” 窗口（见图 5-29）。

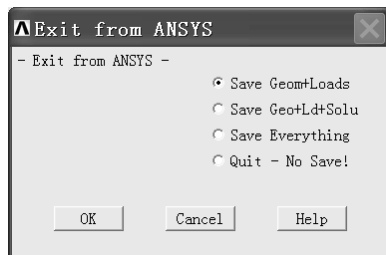


图 5-29 “Exit from ANSYS” 窗口

(7) 选中 “Exit from ANSYS” 窗口中 “Save Everything” 前面的单选框，再单击该窗口中的 “OK” 按钮。

## 8. 求解

(1) 打开 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口（见图 5-30）。

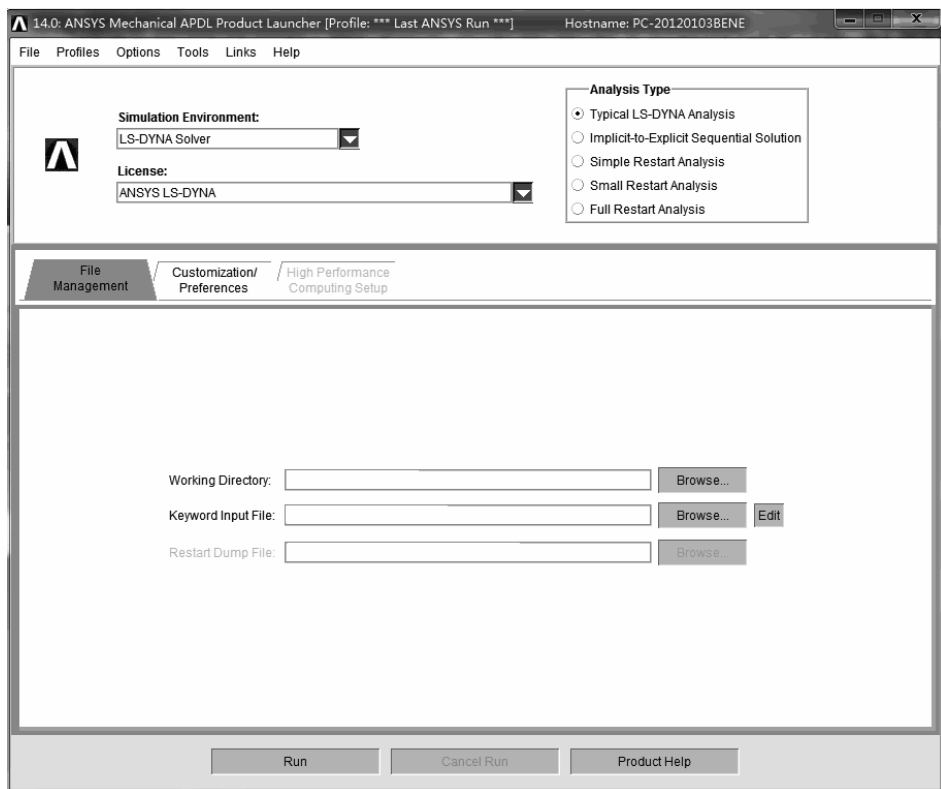


图 5-30 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标,选中“LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标,选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框中找到“D:\CH5\pull bar”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Keyword Input File:”方框中找出 D:\CH5\pull bar”目录下的“pull bar.k”文件,然后单击“Run”按钮。



图 5-31 LS-PREPOST  
后处理器图标

## 9. 后处理

(1) 当计算完成后(没完成也可以),双击 LS-PREPOST 图标(见图 5-31),打开 LS-PREPOST 后处理器。

(2) 单击 LS-PREPOST 操作界面上部的“Background”下拉菜单,再单击“Plain”,将背景变为白色(见图 5-32)。

(3) 单击操作界面左上角的 File 下拉菜单,依次打开“Open”→“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”(见图 5-33),弹出“Open File”窗口,打开“D:\Ch5\pull bar”目录下的“d3plot”文件。

(4) 此时图形窗口中出现方杆(见图 5-34)。

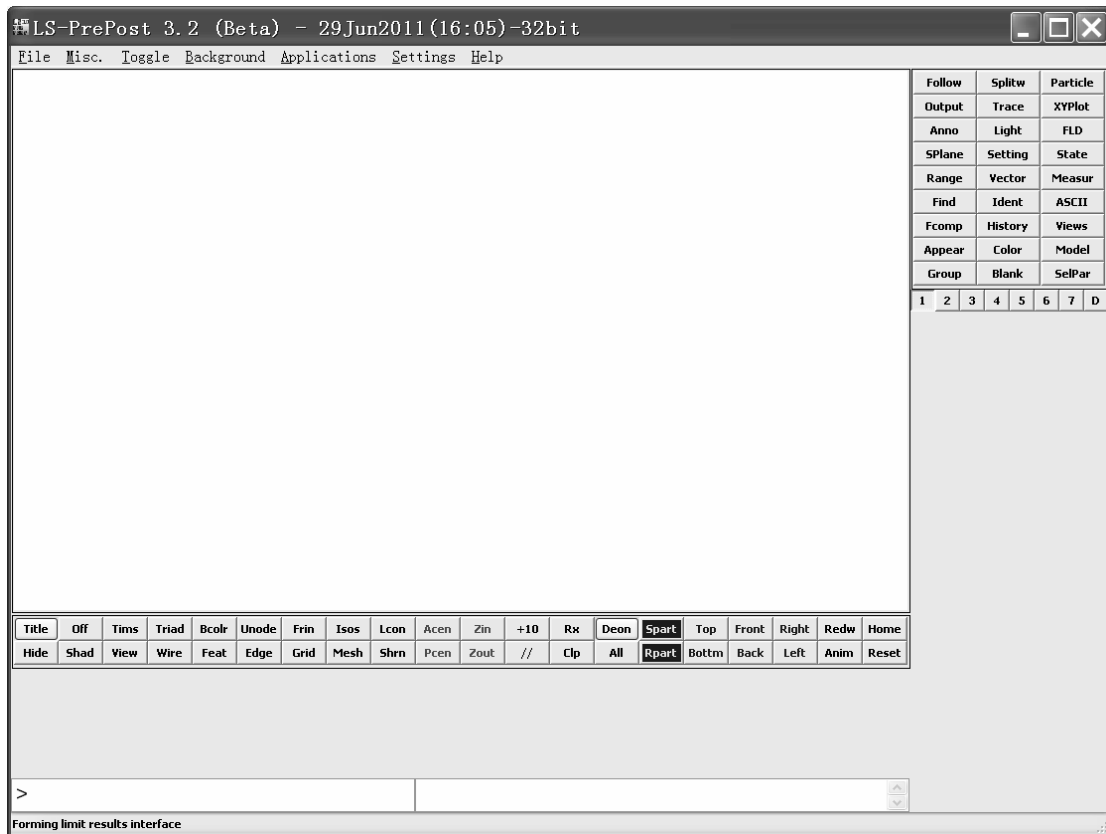


图 5-32 LS-PREPOST 操作界面

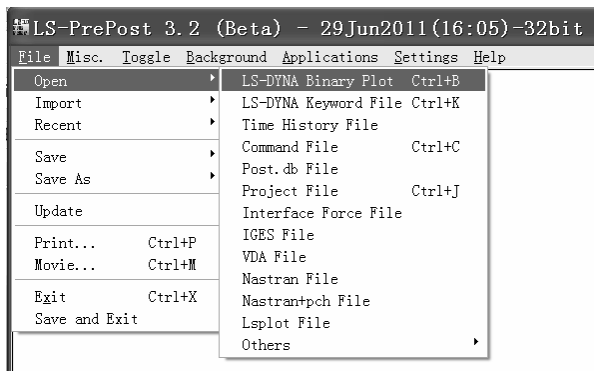


图 5-33 打开计算结果文件



图 5-34 方杆

(5) 如图 5-35 所示, 用鼠标左键单击“Fcomp”, 再单击“Stress”, 再单击“von mises stress”, 然后单击视频播放按钮 (见图 5-36) 观看应力波传播过程 (见图 5-37)。

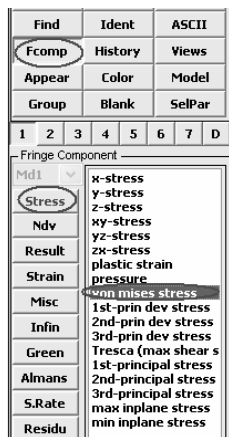


图 5-35 显示应力的操作

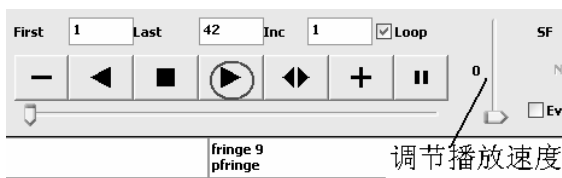





图 5-36 视频播放按钮



图 5-37 应力波传播过程

## 5.7 工程实例 2——刚性板压缩圆管

本实例主要介绍给刚体施加载荷的方法。附带光盘中给出一个起始文件，文件中有一块刚性的板和一个金属圆管。圆管长 0.2m，且管的一端固定。刚性板沿圆管轴向压缩圆管。文件中的模型已经划分好单元，设置好接触与边界条件，且完成了 Part 的生成（Part1 为刚性板，Part2 为圆管）。要求：刚性板以 1m/s 的速度压缩圆管，设置载荷数组，施加载荷，并导出 k 文件（文件的后缀名为“k”，该文件保存了模型的所有信息，计算时就是导入的该文件）。

-  **起始文件**——附带光盘“Ch5\solid plate and tube.db”
-  **结果文件**——附带光盘“Ch5\ solid plate and tube.k”
-  **动画演示**——附带光盘“AVI\Ch5\ solid plate and tube.avi”

将光盘中“Ch5”目录下的“solid plate and tube.db”文件复制到计算机“D:\Ch5\solid plate and tube”目录下。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

（1）在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 5-38）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 5-39）。

（2）单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

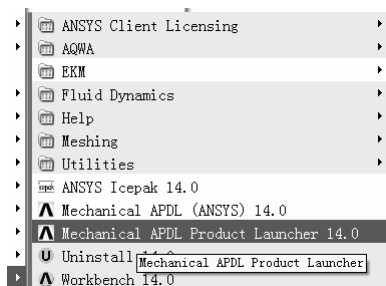


图 5-38 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标

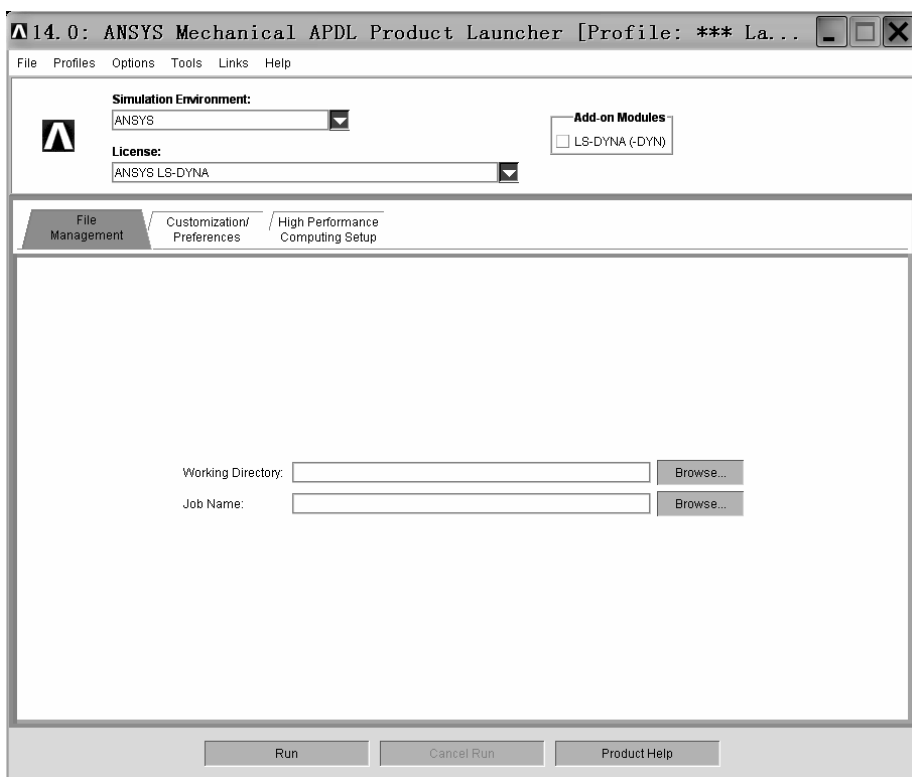


图 5-39 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标,选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch5\solid plate and tube”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch5\solid plate and tube”目录中的“solid plate and tube.db”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮,弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-DYNA 操作界面左上角的“OPEN ANSYS File”按钮(见图 5-40),

打开“D:\Ch5\solid plate and tube”目录中的“solid plate and tube.db”文件。打开该文件后，图形界面中显示出划分网格后的圆管与方板。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video，将图形窗口的背景变为白色，以便续操作中更清楚地观看视图（见图 5-41）。

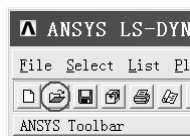


图 5-40 “OPEN ANSYS File”按钮

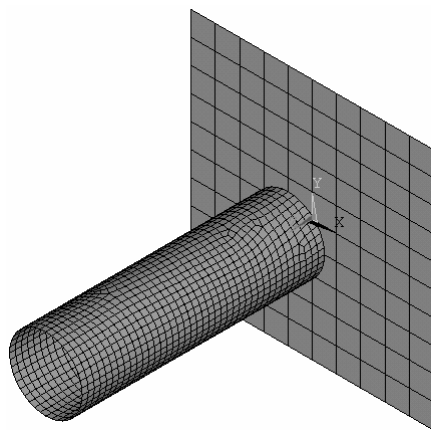


图 5-41 圆管与方板

## 2. 建立载荷数组

(1) 依次选择 Utility Menu>Parameters>Array Parameters>Define/Edit...，弹出“Array Parameters”窗口（见图 5-42）。

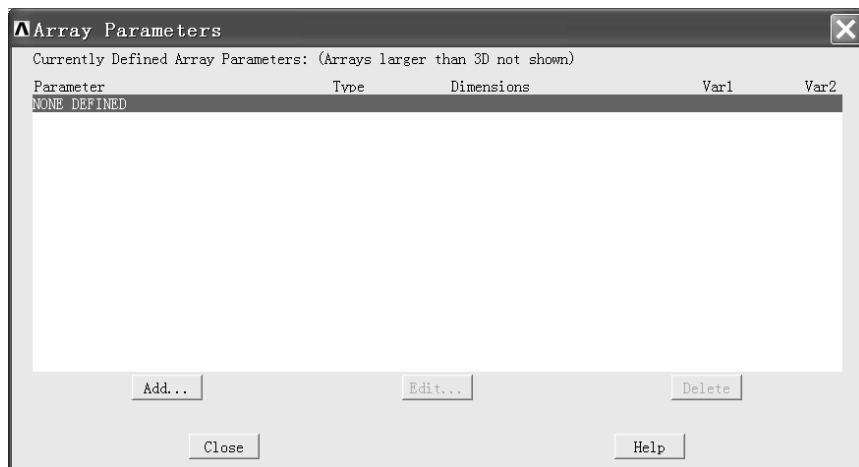


图 5-42 “Array Parameters”窗口

(2) 单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮，弹出“Add New Array Parameter”窗口（见图 5-43）。在“Parameter name”后的方框中输入“TIME”，然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口。

(3) 继续单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮，再次弹出“Add New Array Parameter”窗口，在“Parameter name”后的方框中输入“VELOCITY”（见图 5-44），然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口。

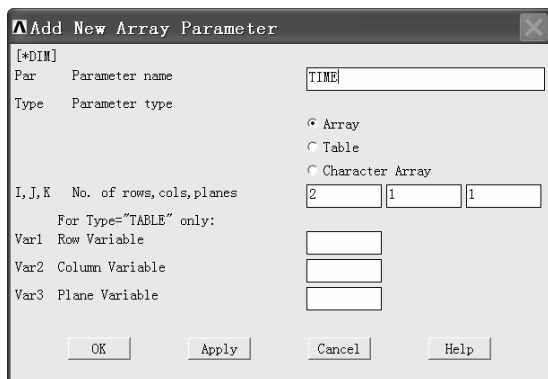


图 5-43 “Add New Array Parameter” 窗口

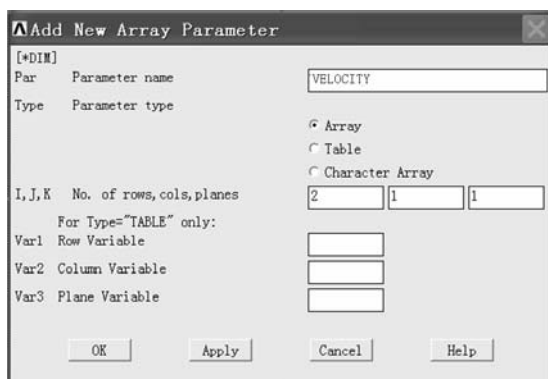


图 5-44 “Add New Array Parameter” 窗口

(4) 单击“Array Parameters”窗口中的“TIME”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter TIME”窗口（见图 5-45）。在“Array Parameter TIME”窗口左下方的两个方框中依次填入“0”、“1”。

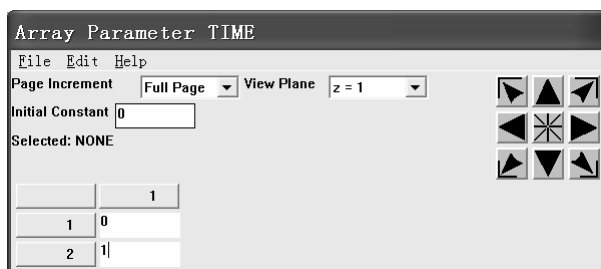


图 5-45 “Array Parameter TIME” 窗口

(5) 单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(6) 选中“Array Parameters”窗口中的“VELOCITY”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter VELOCITY”窗口（见图 5-46）。在“Array Parameter VELOCITY”窗口左下方的两个方框中依次填入“1”、“1”。

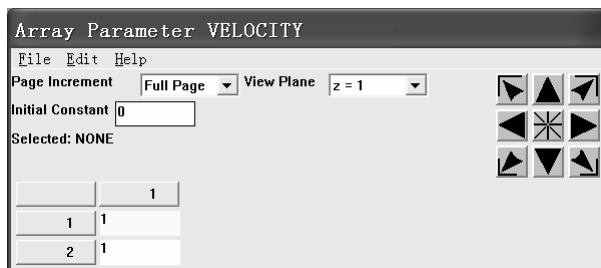


图 5-46 “Array Parameter VELOCITY” 窗口

(7) 单击“Array Parameter VELOCITY”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter VELOCITY”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(8) 单击“Array Parameters”窗口中的“Close”按钮关闭该窗口。

### 3. 施加载荷

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Loading Options>Specify Loads，弹出“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 5-47）。

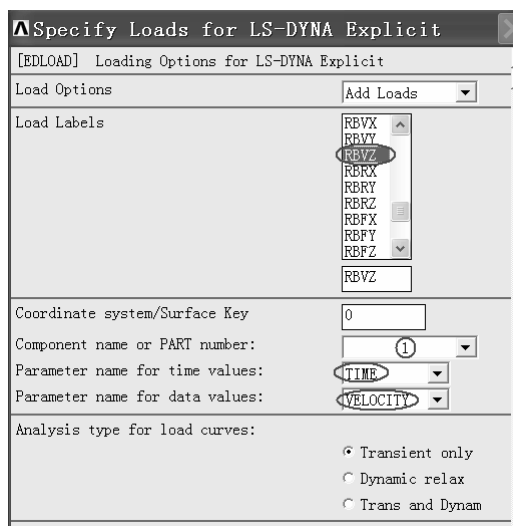


图 5-47 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口

(2) 在该窗口“Load Labels”后的方框中选择“RBVZ”，在“Component name or PART number:”后选择“1”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”，在“Parameter name for data values:”后选择“VELOCITY”，然后单击“OK”按钮。

### 4. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time，弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 5-48）。

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.15”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。



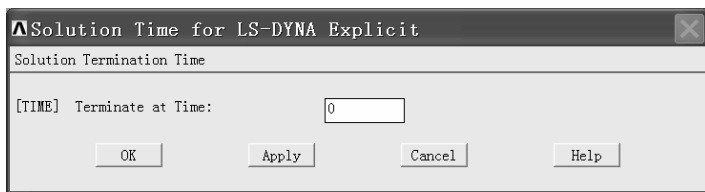


图 5-48 “Solution Time for LS-DYNA Explicit” 窗口

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types, 弹出 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口 (见图 5-49)。

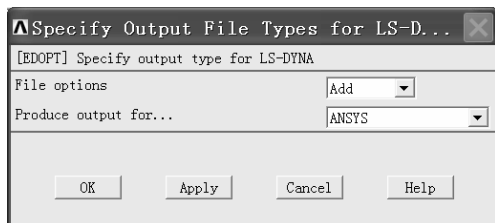


图 5-49 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口

(4) 在 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口中 “File options” 后的方框中选择 “Add”, 在 “Produce output for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA”, 然后单击该窗口中的 “OK” 按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps, 弹出 “Specify File Output Frequency” 窗口 (见图 5-50)。

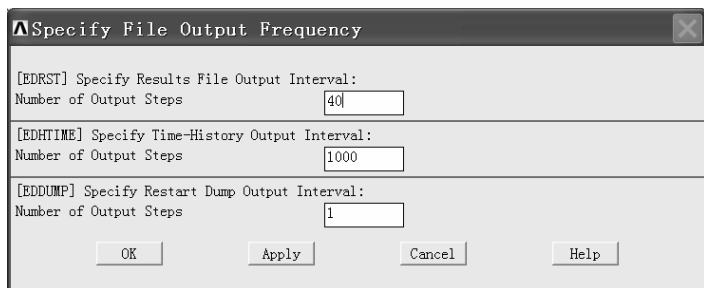


图 5-50 “Specify File Output Frequency” 窗口

(6) 在 “Specify File Output Frequency” 窗口中 “[EDRST] Specify Results File Output Interval:” 后的方框中输入 “40”, 在 “[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:” 后的方框中输入 “1000”, 然后单击该窗口中的 “OK” 按钮。

## 5. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 5-51)。

(2) 在 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中 “Write results files for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA” (单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击 “Write input files to...” 后的 “Browse...” 按钮, 弹出 “Write input files to...” 窗口 (见图 5-52)。

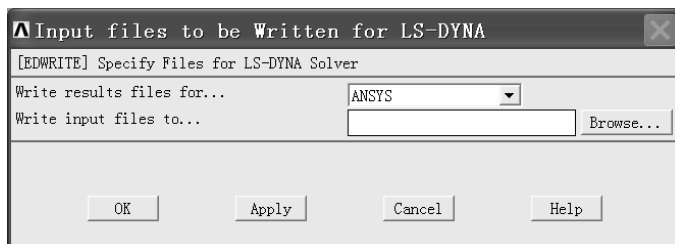


图 5-51 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

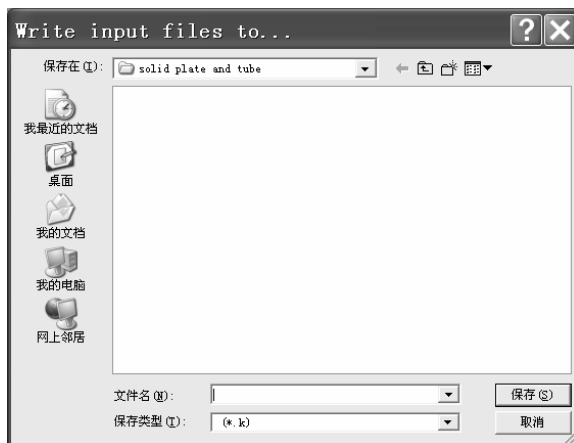


图 5-52 “Write input files to...” 窗口

(3) 在“Write input files to...”窗口中“文件名(N):”后的方框中输入“solid plate and tube.k”，然后单击“保存”按钮，返回到“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口（见图 5-53）。

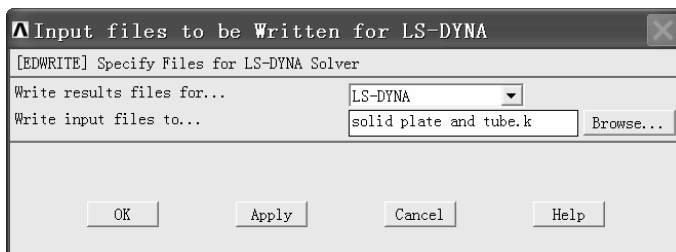


图 5-53 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中的“OK”按钮，弹出“EDWRITE Command”窗口（见图 5-54）。

(5) 单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 图形窗口中的模型上显示出边界条件与载荷（见图 5-55）。

(7) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出“Exit from ANSYS”窗口（见图 5-56）。

(8) 选中“Exit from ANSYS”窗口中“Save Everything”前面的单选框，再单击该窗口中的“OK”按钮。

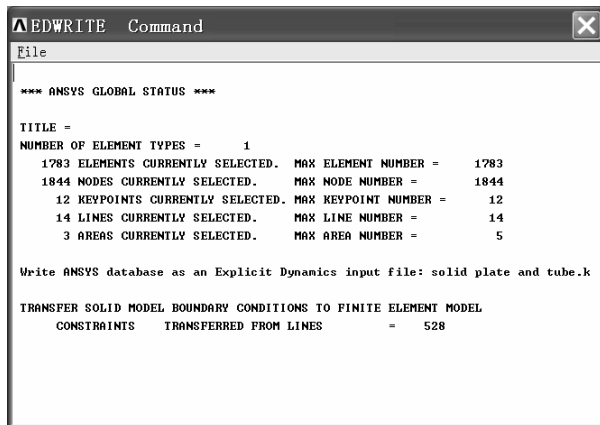


图 5-54 “EDWRITE Command” 窗口

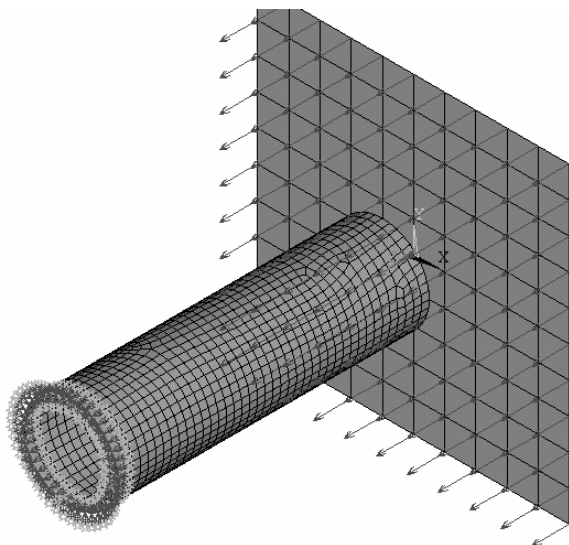


图 5-55 边界条件与载荷

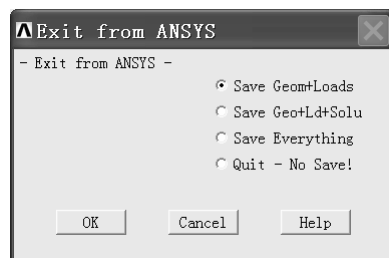
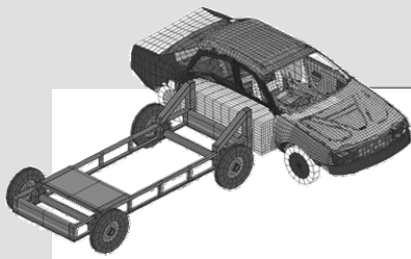


图 5-56 “Exit from ANSYS” 窗口

## 5.8 小结

本章主要介绍了在 ANSYS LS-DYNA 模块下设置常用载荷的方法。在 LS-DYNA 中可以方便地给模型施加随时间变化的载荷。对刚体而言，可以直接给它的 Part 施加载荷；对节点而言，可以给节点的 Component 施加载荷。



## 第 6 章 刚 体

将工程中的某些结构简化为刚体，不但可以大大简化分析过程，而且可以保证分析的精度。比如，用石蜡柱撞击铜块时，可以将铜块视为刚体。LS-DYNA 程序使用刚体算法主要是为了节省计算资源，减少计算用时。



### 本章内容

- 刚体的使用场合
- 刚体材料的选取与约束的设定

- LS-DYNA 中设置刚体的注意事项

## 6.1 刚体的作用

LS-DYNA 使用刚体的主要目的是节省计算资源，减少计算用时。一个刚体只有六个自由度。无论刚体上的节点与单元数量有多少，计算出刚体质心的运动量后就能得到刚体上各点的运动情况。在分析过程中常常可以将变形量很小（“很小”的准确含义是：变形几乎对分析结果没有影响）的物体视为刚体。LS-DYNA 中计算刚体的效率是非常高的，使用者适当地使用刚体模型可以大大节省计算用时，特别是计算规模很大的时候。

## 6.2 应用刚体时的注意事项

“刚体”虽然是无穷硬的物体，但在 LS-DYNA 中使用者必须根据物体的实际材料属性来定义刚体。这些属性主要有密度、杨氏模量、泊松比。使用者应当避免使用不符实际的杨氏模量，否则将导致不真实的接触力。在 ANSYS LS-DYNA 模块中给刚体设置约束时，通常只需约束刚体材料的自由度。计算过程中为了提高计算效率，有时可以将变形体与刚体进行相互转换（参考 K 文件关键字\*DEFORMABLE\_TO\_RIGID\_AUTOMATIC，本书对此问题不做讨论）。

## 6.3 刚体材料的选取与约束的设定

在 LS-DYNA 中有专门针对给刚体的材料类型。其设置路径为：Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 6-1）。单击该窗口右侧方框内的“LS-DYNA”，再单击“Rigid Material”，弹出“Rigid Properties for Material N...”窗口（见图 6-2）。

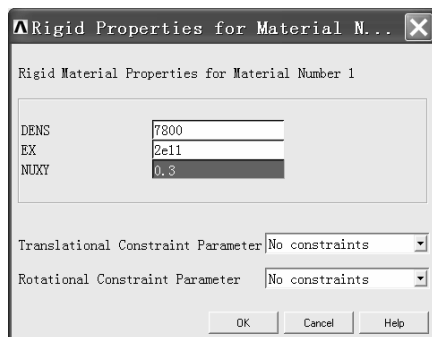
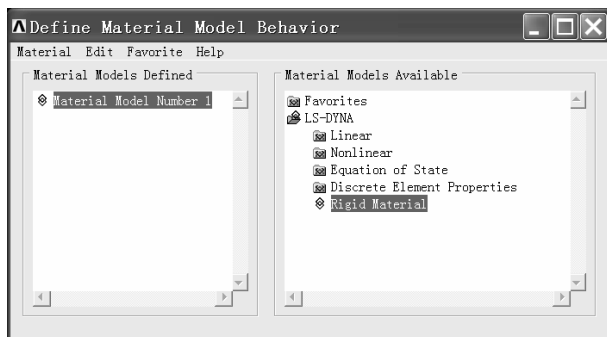


图 6-1 “Define Material Model Behavior”窗口

图 6-2 “Rigid Properties for Material N...”窗口

在“Rigid Properties for Material N...”窗口中需要输入材料的属性：“DENS”为密度，“EX”为杨氏模量，“NUXY”为泊松比。它们的具体数值需要根据实际材料来确定。该窗口中“Translational Constraint Parameter”表示对材料平动自由度的约束（即对刚体平动自由

度的约束)。“Translational Constraint Parameter”共有 8 个选项,分别是:

- No constraints 不约束;
- X displacement 约束 X 方向的平动自由度;
- Y displacement 约束 Y 方向的平动自由度;
- Z displacement 约束 Z 方向的平动自由度;
- X and Y disps.约束 X 方向与 Y 方向的平动自由度;
- Y and Z disps.约束 Y 方向与 Z 方向的平动自由度;
- Z and X disps.约束 Z 方向与 X 方向的平动自由度;
- All disps.约束所有方向的平动自由度。

“Rotational Constraint Parameter”表示对转动自由度的约束,它也有 8 个选项,分别是:

- No constraints 不约束;
- X rotation 约束绕 X 轴的转动自由度;
- Y rotation 约束绕 Y 轴的转动自由度;
- Z rotation 约束绕 Z 轴的转动自由度;
- X and Y rotate 约束绕 X 轴和 Y 轴的转动自由度;
- Y and Z rotate 约束绕 Y 轴和 Z 轴的转动自由度;
- Z and X rotate 约束绕 Z 轴和 X 轴的转动自由度;
- All rotations 约束所有转动自由度。

## 6.4 初始条件设置

对刚体初始条件的设置包括设置速度与设置角速度,可以直接对刚体的 Part 设置初始条件。其设置路径为: Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA options>Initial Velocity>On Parts>w/Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口(见图 6-3)。

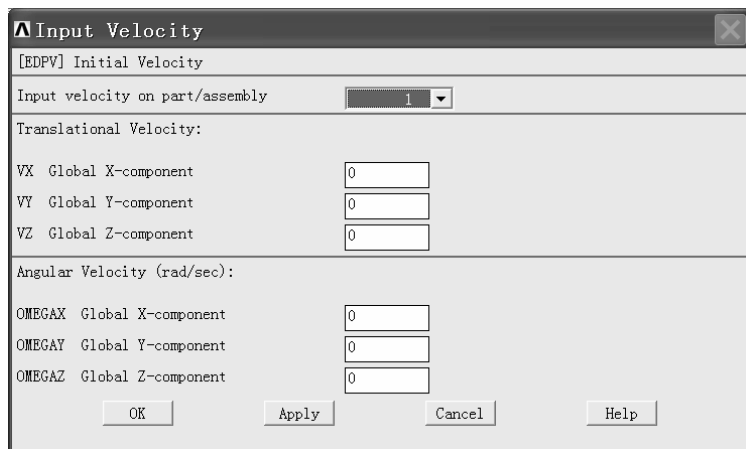


图 6-3 “Input Velocity”窗口

## 6.5 工程实例——落锤冲击方管的过程

本实例演示了给刚体设置材料及施加约束的方法。附带光盘中给出了一个起始文件。该文件中有落锤冲击方管的模型（见图 6-4）。其中方管（位于图 6-4 的下部）已经完成了网格划分，且方管的一端已经被完全约束。落锤已经建好了几何模型（位于图 6-4 的上部）。要求：将落锤视为刚体，给落锤设定材料及约束，给落锤划分网格，给落锤施加一个 5m/s 的初始撞击速度，并给落锤施加一个重力场，最后导出 K 文件。本例题采用 kg-m-s 制国际单位。

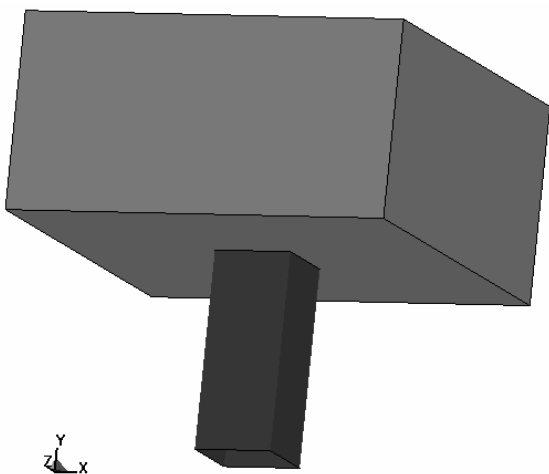
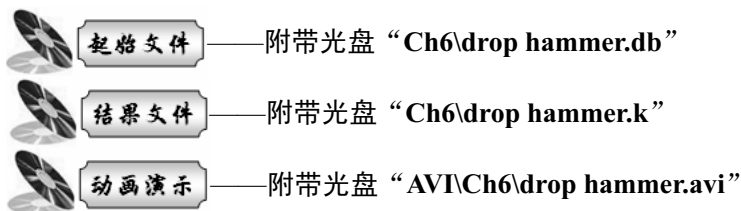


图 6-4 落锤与方管



将光盘中“Ch6”目录下的“drop hammer.db”文件复制到计算机“D:\Ch6\drop hammer”目录下。

### 1. 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 6-5）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 6-6）。

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

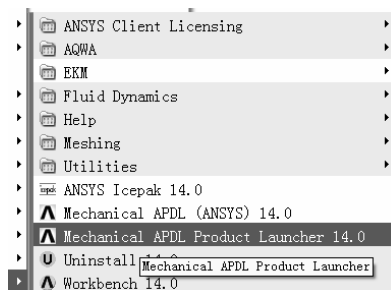


图 6-5 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标

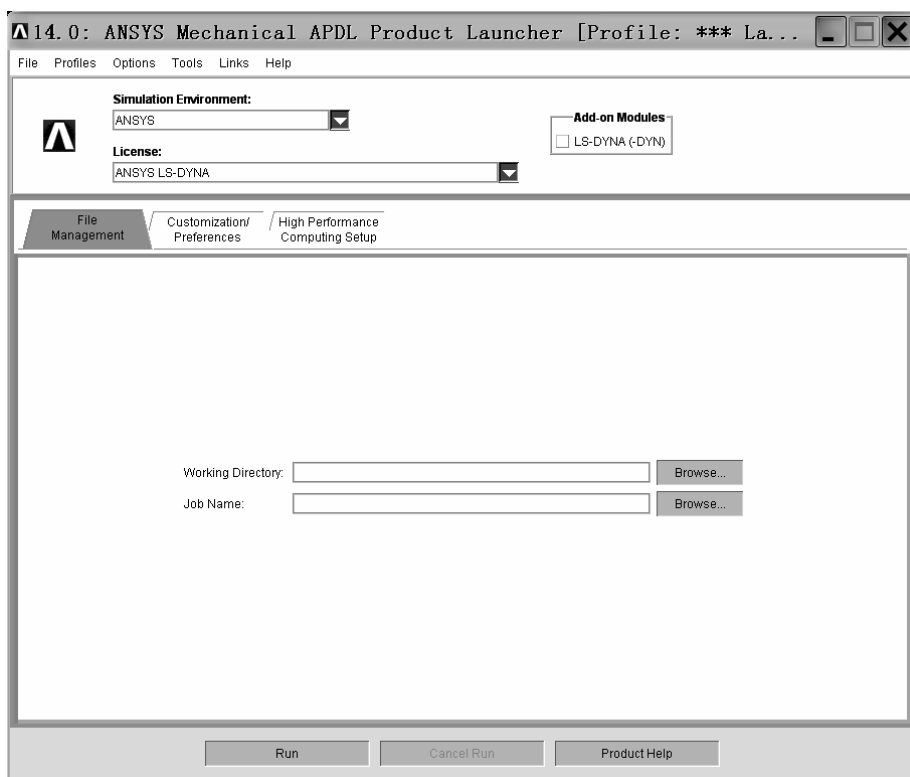


图 6-6 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch6\drop hammer”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch6\drop hammer”目录中的“drop hammer.db”文件。

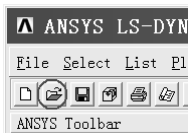


图 6-7 “OPEN ANSYS  
File”按钮

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮，弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-DYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮（见图 6-7），打开“D:\Ch6\drop hammer”目录中的“drop



hammer.db”文件。打开该文件后图形窗口中显示出划分单元后的方管。

(8) 依次选择 **Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video**，将图形窗口的背景变为白色，以便后续操作中更清楚地观看视图（见图 6-8）。

(9) 依次选择 **Utility Menu>Plot>Areas**，图形窗口中显示出落锤与方管（见图 6-9），其中方管下端边界的自由度已被完全约束。

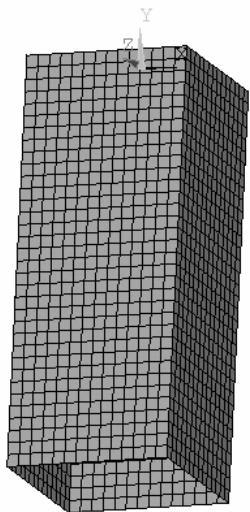


图 6-8 划分单元后的方管

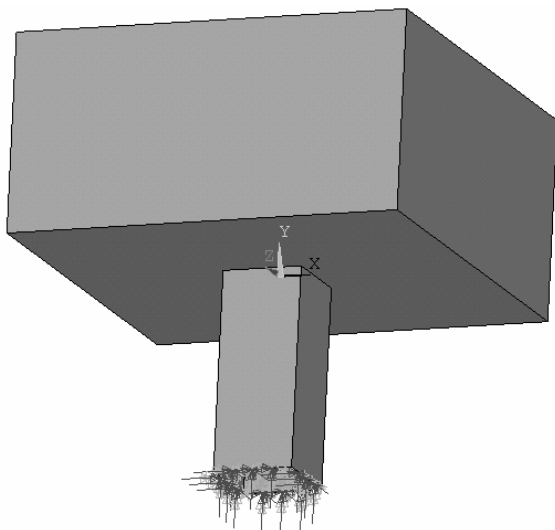


图 6-9 落锤与方管

## 2. 定义刚体材料

(1) 依次选择 **Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models**，弹出“Define Material Model Behavior”窗口（见图 6-10）。

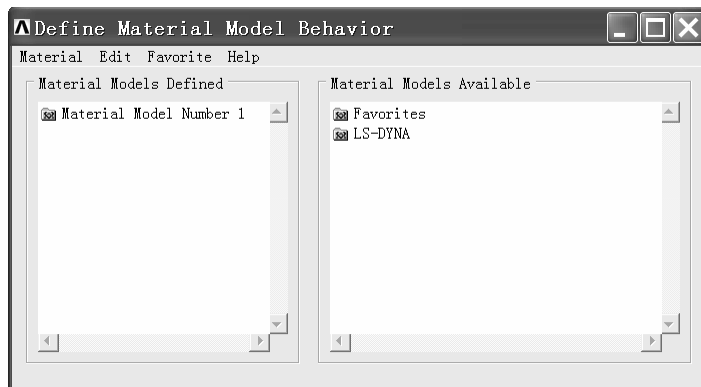


图 6-10 “Define Material Model Behavior”窗口

(2) 单击“Define Material Model Behavior”窗口左上角的“Material”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“New Model...”，弹出“Define Materi...”窗口（见图 6-11），单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 单击“Define Material Model Behavior”窗口右侧方框中的“LS-DYNA”，继续单击“Rigid Material”，弹出“Rigid Properties for Material N...”窗口。

(4) 在“Rigid Properties for Material N...”窗口中进行如下操作（见图 6-12）：在“DENS”后的方框中输入“7800”，在“EX”后的方框中输入“2e11”，在“NUXY”后的方框中输入“0.3”；在“Translational Constraint Parameter”后的方框中选择“Z and X disp.”，在“Rotational Constraint Parameter”后的方框中选择“All rotations”，然后单击“OK”按钮。

(5) 单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

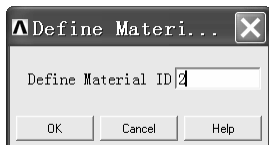


图 6-11 “Define Materi...” 窗口

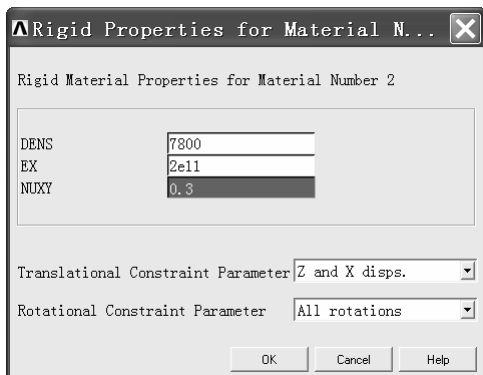


图 6-12 “Rigid Properties for Material N...” 窗口



### 应用·技巧

实际情况中，落锤被限制在竖直（即 Y 轴方向）轨道内运动，但本例中并没有建立轨道的模型。本例中忽略了轨道的摩擦力，并且直接用限定刚体自由度的方法代替了轨道的约束作用（约束 3 个转动自由度及沿 X 轴与 Z 轴的平动自由度）。在模拟中适当地使用这种方法可以减少建模工作量和计算用时。

### 3. 给刚体划分单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs，弹出“Meshing Attributes”窗口（见图 6-13）。在该窗口“[TYPE] Element type number”后的方框中选择“2 SOLID164”，在“[MAT] Material number”后的方框中选择“2”，然后单击“OK”按钮。

(2) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Size Cntrl>Manual Size>Lines>All Lines，弹出“Element Sizes on All Selected Lines”窗口（见图 6-14）。在“SIZE Element edge length”后的方框中输入“0.02”，然后单击“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh>Volumes>Mapped>4 to 6sided，弹出“Mesh Volumes”窗口（见图 6-15）。

(4) 单击选中图形窗口中的落锤，然后单击“Mesh Volumes”窗口中的“OK”按钮。到此完成对落锤的网格划分（见图 6-16）。

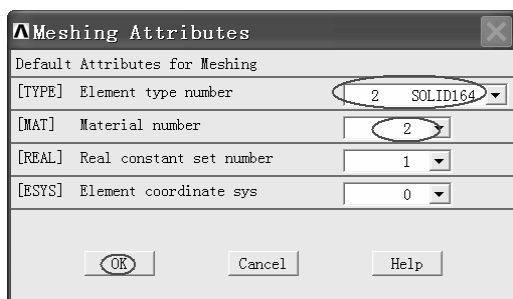


图 6-13 “Meshing Attributes” 窗口

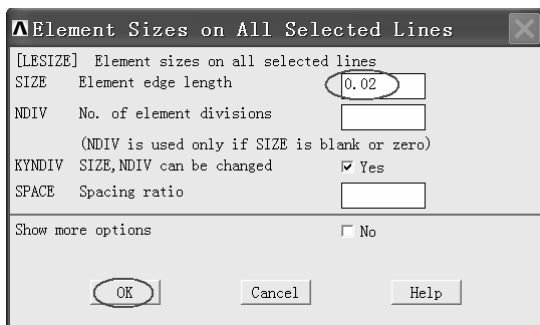


图 6-14 “Element Sizes on All Selected Lines” 窗口

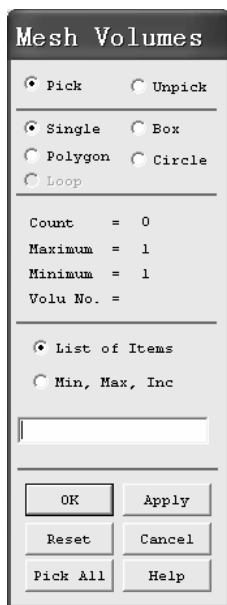


图 6-15 “Mesh Volumes” 窗口

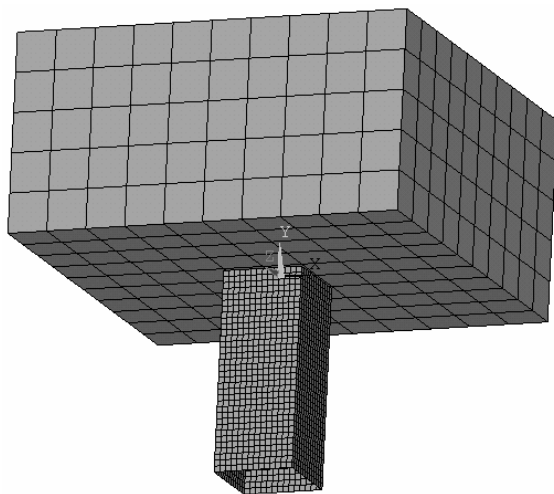


图 6-16 落锤完成网格划分

#### 4. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 6-17)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变, 单击该窗口中的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口(见图 6-18)。其中 Part1 为方管, Part2 为落锤。

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

#### 5. 设置初速度

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Initial Velocity>On Parts>w/ Nodal Rotate, 弹出“Input Velocity”窗口(见图 6-19)。

(2) 在“Input Velocity”窗口中“Input velocity on part/assembly”后的方框中选择“2”; 在“VY Global Y-component”后的方框中输入“-5”, 然后单击“OK”按钮。

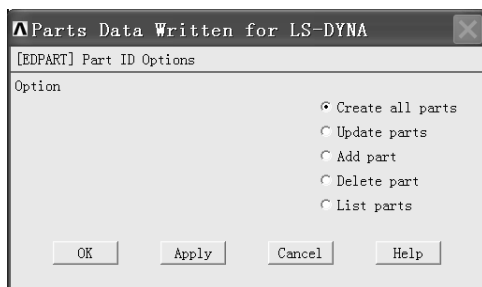


图 6-17 “Parts Data Written for LS-DYNA” 窗口

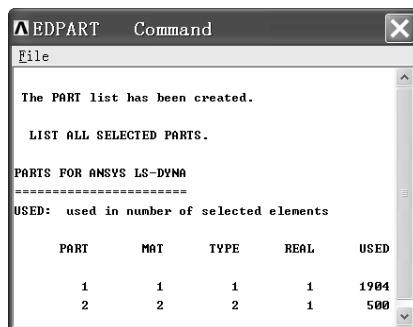


图 6-18 “EDPART Command” 窗口

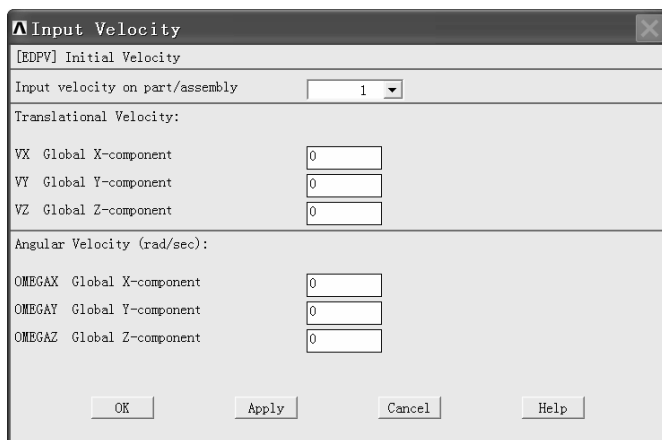


图 6-19 “Input Velocity” 窗口

## 6. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact, 弹出“Contact Parameter Definitions”窗口（见图 6-20）。

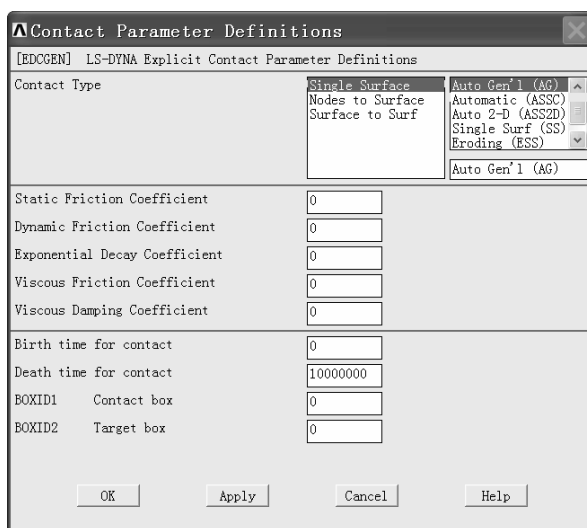


图 6-20 “Contact Parameter Definitions” 窗口

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Contact Type”后的第一个方框中选择“Single Surface”（选中后背景为蓝色），在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic (ASSC)”。

(3) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Static Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”。

(4) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Dynamic Friction Coefficient”后的方框内输入“0.3”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

## 7. 建立载荷数组

这里建立载荷数组是为了给落锤施加一个重力场。

(1) 依次选择 Utility Menu>Parameters>Array Parameters>Define/Edit..., 弹出“Array Parameters”窗口（见图 6-21）。

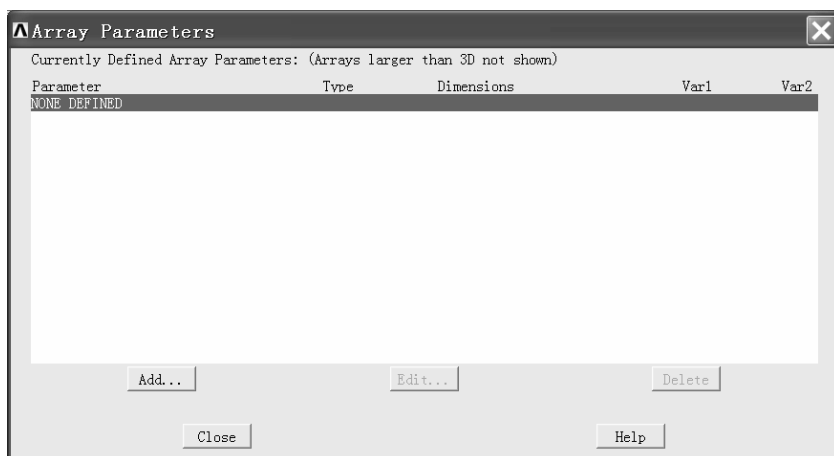


图 6-21 “Array Parameters”窗口

(2) 单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮，弹出“Add New Array Parameter”窗口（见图 6-22）。在“Parameter name”后的方框中输入“TIME”，然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口。

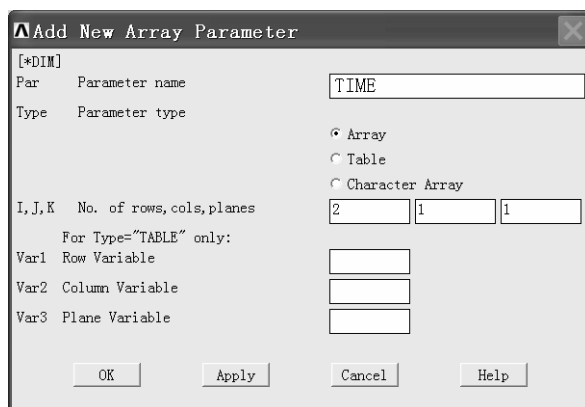


图 6-22 “Add New Array Parameter”窗口

(3) 继续单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮，再次弹出“Add New Array Parameter”窗口，在“Parameter name”后的方框中输入“ACCY”（见图 6-23），然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口。

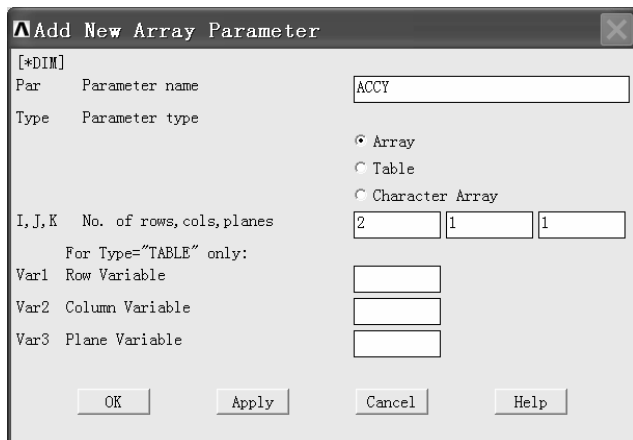


图 6-23 “Add New Array Parameter”窗口

(4) 单击“Array Parameters”窗口中的“TIME”，“TIME”背景变为蓝色，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter TIME”窗口（见图 6-24）。

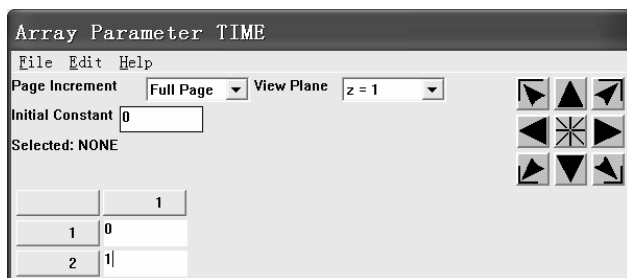


图 6-24 “Array Parameter TIME”窗口

(5) 在“Array Parameter TIME”窗口左下方的两个方框中依次填入“0”、“1”。

(6) 单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(7) 单击选中“Array Parameters”窗口中的“ACCY”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter ACCY”窗口（见图 6-25）。在“Array Parameter ACCY”窗口左下方的两个方框中依次填入“9.8”、“9.8”。特别注意：这里填入的是“9.8”，而不是“-9.8”。尽管重力加速度的方向是竖直向下的，即沿 Y 轴的负方向，但填写“9.8”才是正确的。

(8) 单击“Array Parameter ACCY”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter ACCY”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(9) 单击“Array Parameters”窗口中的“Close”按钮关闭该窗口。

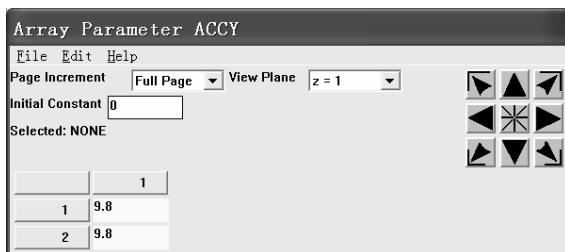


图 6-25 “Array Parameter ACCY” 窗口

## 8. 生成 Component

重力场需要施加在落锤的节点上，所以首先需要将落锤上的节点集合为一个 Component。

(1) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities..., 弹出 “Selec...” 窗口 (见图 6-26)。在该窗口的第一个方框中选择 “Volumes”，在第二个方框中选择 “By Num/Pick”，再选中 “From Full” 前的单选框，然后单击 “OK” 按钮，弹出 “Select vol...” 窗口 (见图 6-27)。

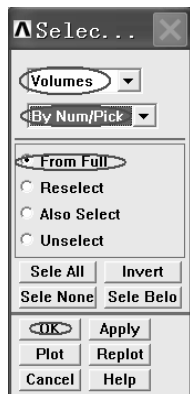


图 6-26 “Selec...” 窗口

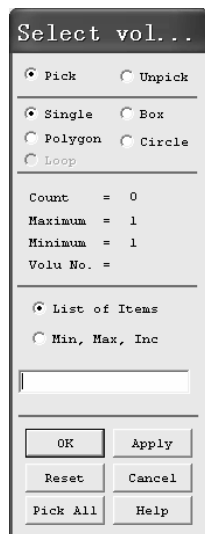


图 6-27 “Select vol...” 窗口

(2) 单击选中落锤，然后单击 “OK” 按钮。

(3) 依次选择 Utility Menu>Entities..., 弹出 “Selec...” 窗口 (见图 6-28)。在该窗口的第一个方框中选择 “Nodes”，在第二个方框中选择 “Attached to”，再选中 “Volumes, all” 前的单选框，然后单击 “OK” 按钮。

(4) 依次选择 Utility Menu>Comp/Assembly>Create Component..., 弹出 “Create Component” 窗口 (见图 6-29)。在 “Component name” 后的方框中输入 “ABC”，在 “Entity Component is made of” 后的方框中选择 “Nodes”，然后单击 “OK” 按钮。

(5) 依次选择 Utility Menu>Select>Everything。

## 9. 施加载荷

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Loading Options>Specify Loads, 弹出 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口 (见图 6-30)。

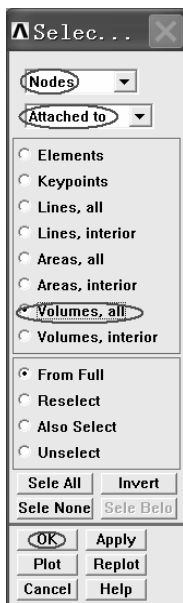


图 6-28 “Select...” 窗口

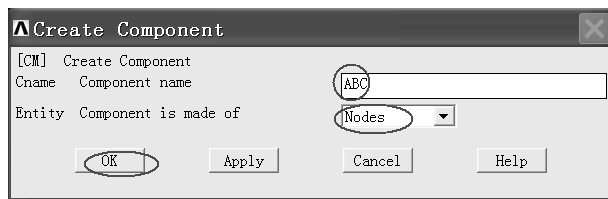


图 6-29 “Create Component” 窗口

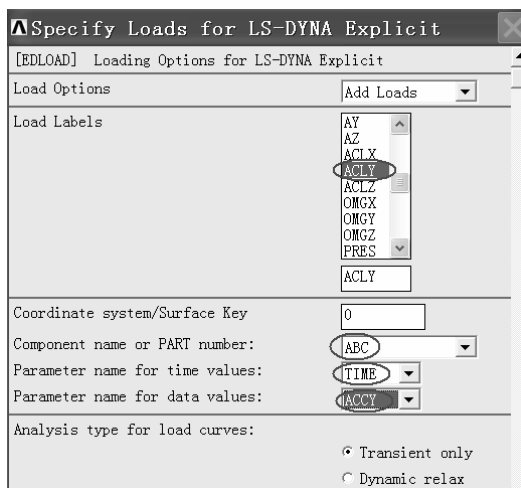


图 6-30 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口

(2) 在该窗口“Load Labels”后的方框中选择“ACLY”，在“Component name or PART number:”后选择“ABC”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”，在“Parameter name for data values:”后选择“ACCY”，然后单击“OK”按钮。图形中的模型显示出载荷及边界条件（见图 6-31）。

## 10. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time，弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 6-32）。

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.03”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。



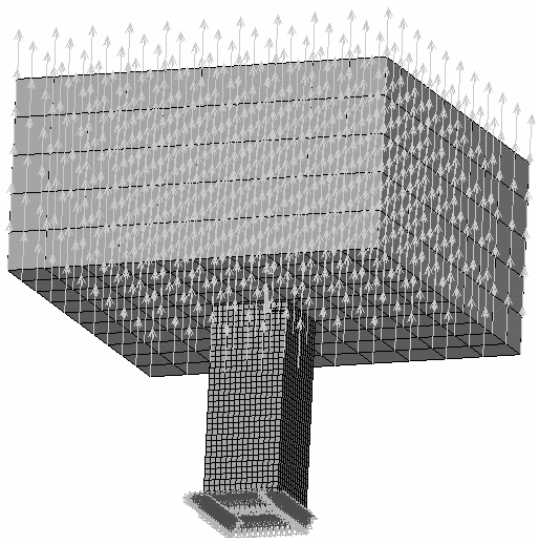


图 6-31 模型显示出载荷及边界条件

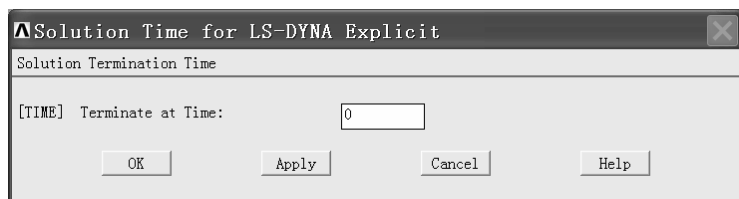


图 6-32 “Solution Time for LS-DYNA Explicit” 窗口

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types, 弹出 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口 (见图 6-33)。

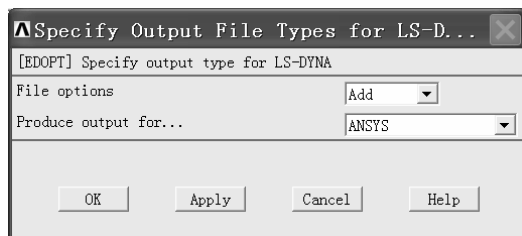


图 6-33 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口

(4) 在 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口中 “File options” 后的方框中选择 “Add”, 在 “Produce output for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA”, 然后单击该窗口中的 “OK” 按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps, 弹出 “Specify File Output Frequency” 窗口 (见图 6-34)。

(6) 在 “Specify File Output Frequency” 窗口中 “[EDRST] Specify Results File Output Interval:” 后的方框中输入 “40”, 在 “[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:” 后的方框中输入 “1000”, 然后单击该窗口中的 “OK” 按钮。

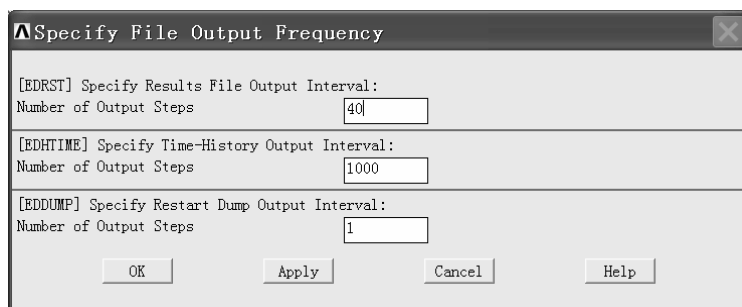


图 6-34 “Specify File Output Frequency” 窗口

## 11. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 6-35)。

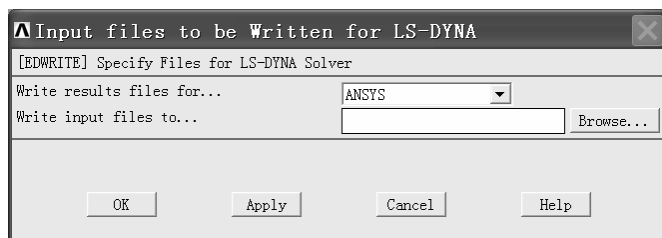


图 6-35 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(2) 在 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中 “Write results files for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA” (单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击 “Write input files to...” 后的 “Browse...” 按钮, 弹出 “Write input files to...” 窗口 (见图 6-36)。

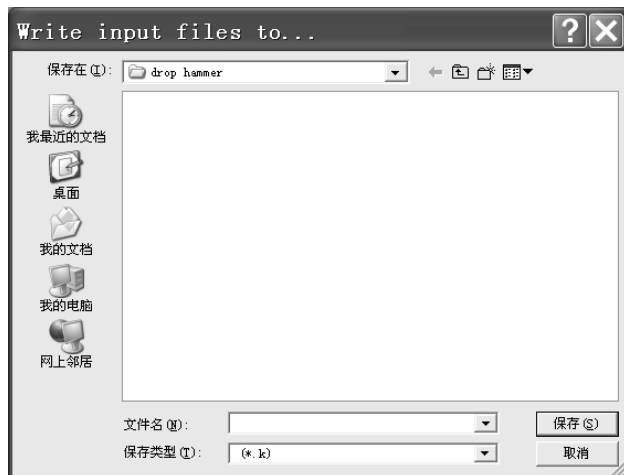


图 6-36 “Write input files to...” 窗口

(3) 在 “Write input files to...” 窗口中 “文件名(N):” 后的方框中输入 “drop hammer.k”, 然后单击 “保存” 按钮, 返回到 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 6-37)。

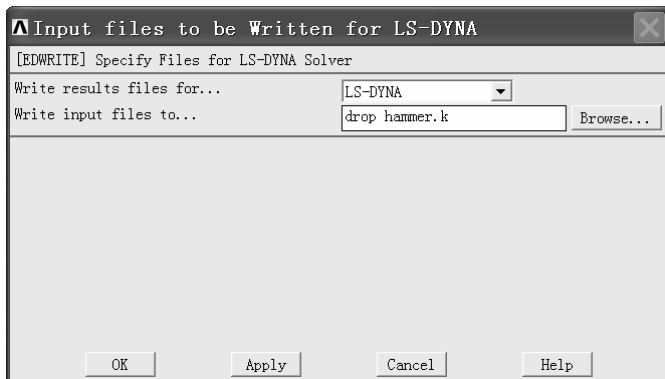


图 6-37 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中的 “OK” 按钮，弹出 “EDWRITE Command” 窗口（见图 6-38）。

(5) 单击 “EDWRITE Command” 窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出 “Exit from ANSYS” 窗口（见图 6-39）。

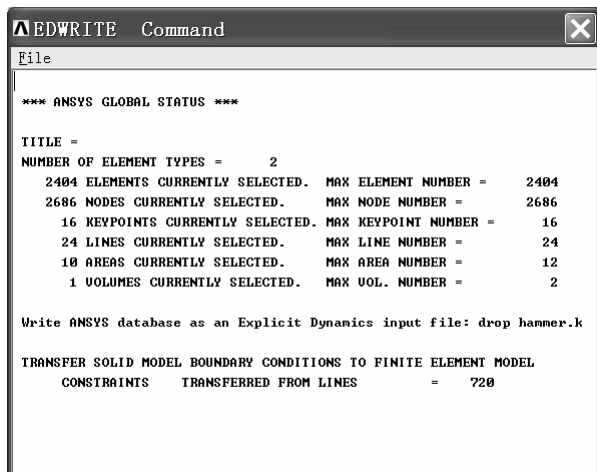


图 6-38 “EDWRITE Command” 窗口

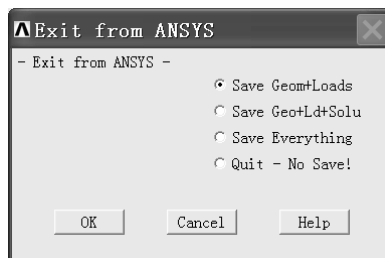
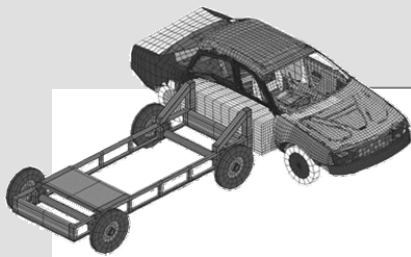


图 6-39 “Exit from ANSYS” 窗口

(7) 选中 “Exit from ANSYS” 窗口中 “Save Everything” 前面的单选框，再单击该窗口中的 “OK” 按钮。

## 6.6 小结

本章主要介绍了在 ANSYS LS-DYNA 中建立刚体的方法。当模型的变形量几乎不影响分析结果时，通常可以将模型简化为刚体。使用刚体可以节省大量的计算用时。设置刚体材料时，应当按照实际材料的密度、杨氏模量和泊松比进行设定。利用对刚体自由度的约束条件通常可以简化模型，比如，本章实例中省去了落锤的导轨。



## 第7章 重 启 动

在仿真计算过程中经常会遇到如下问题：（1）有时需要暂时停止一个计算程序，待以后方便时再接着计算；（2）在计算机意外断电情况下，整个计算可能需要从头开始；（3）初始设定的仿真时间不够长，需要延长仿真时间；（4）为了提高计算效率，需要删除接触或添加接触等。LS-DYNA 中的重启动功能可以很好地解决上述问题。



### 本章内容

- 重启动功能
- 重启动的操作方法

- 利用 k 文件修改计算模型

## 7.1 重新启动的作用

LS-DYNA 中重新启动的主要功能有两点：(1) 可以随时终止计算程序，并且以后能方便地接着上次终止的地方继续计算；(2) 可以将计算暂时停止，并对模型进行适当修改，然后再接着计算。重新启动非常方便实用。操作者在终止运算程序时需要写一个重新启动文件。该文件保存了当前计算的所有信息，下次重新启动计算时导入该重新启动文件便可以接着上次中断的位置继续运算。

## 7.2 重新启动的分类

LS-DYNA 中提供了三种重新启动方式：简单重新启动、小型重新启动、完全重新启动。各种重新启动的功能如下。

计算程序被用户中断（如将计算资源暂时用于他处）或意外中断（如意外断电）而下次用户又想接着程序中中断的地方继续计算时，可以使用简单重新启动。简单重新启动的操作最为方便（与其他重新启动相比），不需要修改任何计算文件。简单重新启动可以减少重复计算的时间。简单重新启动的例题参见本章中的实例 1。

小型重新启动可以实现以下功能：重新设置求解终止时间（如发现以前设置的计算时间不够）、重新设置各种输出文件的时间间隔（如撞击过程中输出图片（一组计算结果）的时间间隔常常需要短一些，撞击结束后输出图片的时间间隔可以长一些）、删除接触设置、删除单元和 Part、把变形体转化为刚体、把刚体转化为变形体等。

完全重新启动往往需要对关键字文件做大量的修改，如增加 Part 或接触等。

## 7.3 查看计算时间

在对 k 文件进行计算时往往希望知道还需要多少时间才能完成整个计算。使用者可以进行如下操作。在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 7-1）中打开一个 k 文件，并开始对 k 文件进行计算。图 7-2 为显示 k 文件计算过程的窗口。先简单介绍一下该窗口中的信息。图 7-2 中倒数第二行显示的信息为“6992 t 2.2499 E-03 dt 2.48E-07 write d3plot file”，其中“t 2.2499E-03”表示当前已经完成的仿真计算时间为“2.2499”ms，“dt 2.48E-07”表示当前计算的时间步长为 24.8 $\mu$ s，“write d3plot file”表示输出一组计算结果。此时使用“Ctrl+C”（先按住键盘上的“Ctrl”键，再按一下键盘上的“C”键，然后松开“Ctrl”键），图 7-2 最后一行显示“.enter sense switch:”。操作者只需用英语输入法输入“sw2”，然后按回车键。显示 k 文件计算过程的窗口中出现计算耗时的相关信息（见图 7-3）。图 7-3 最后两行中，“estimated total clock time”表示计算整个文件大概需要的时间；“estimated clock time to complete”表示完成剩余计算还需要的大概时间。注意，以上所示的计算时间只是一个预测，实际使用的时间可能不同。

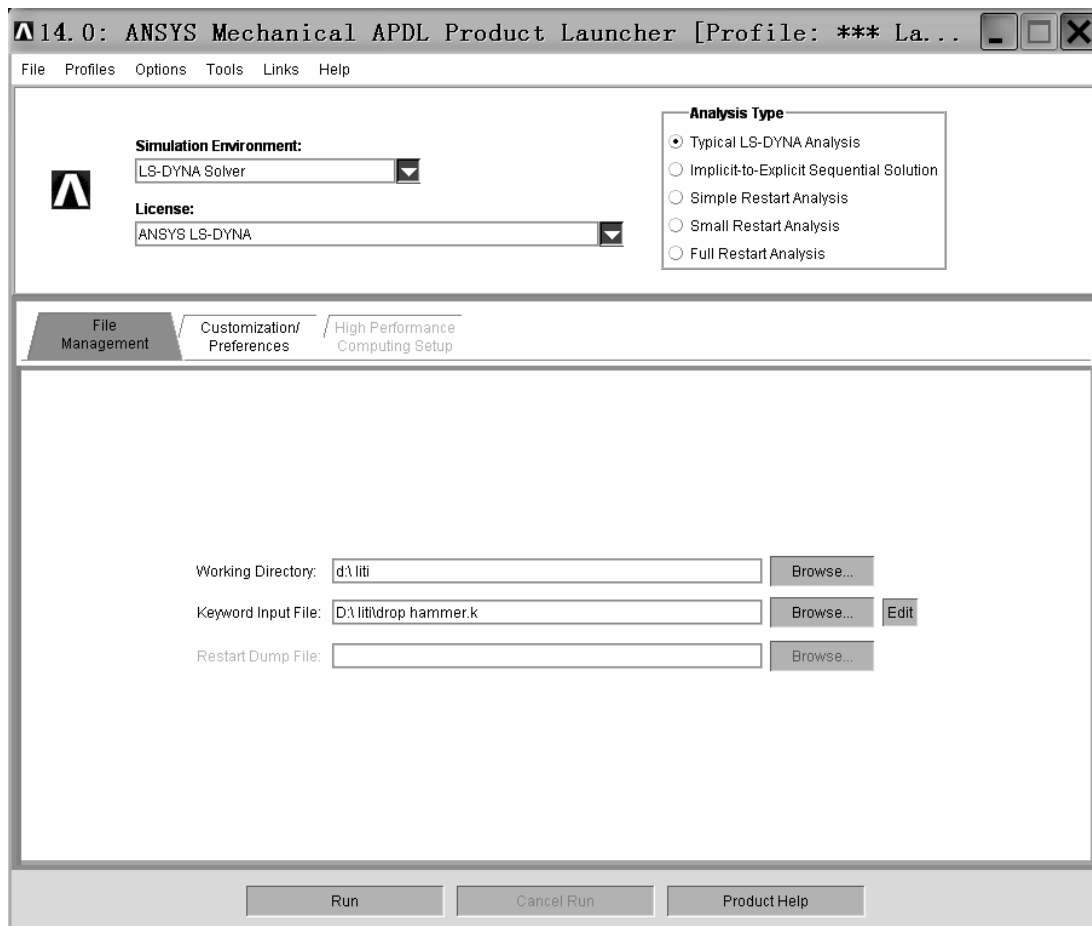


图 7-1 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

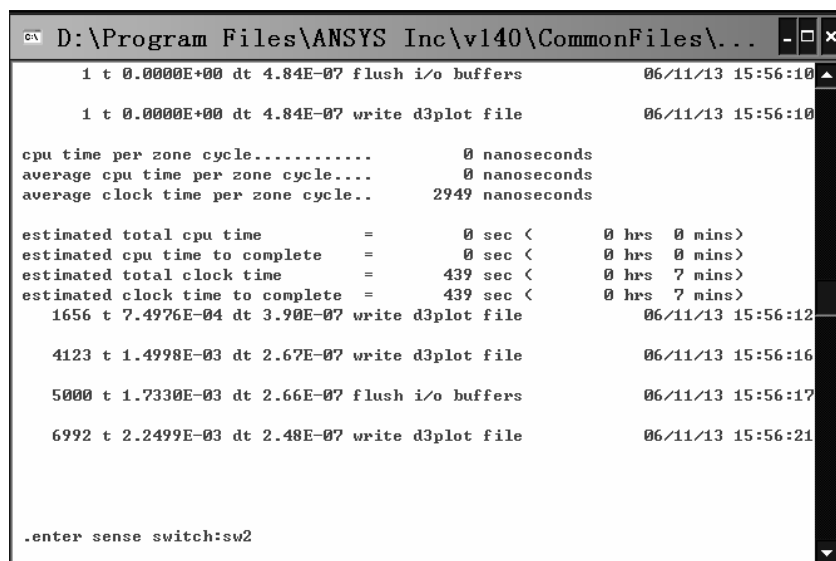


图 7-2 显示计算过程的窗口

```

kinetic energy..... 2.50760E+02
internal energy..... 1.32632E+02
spring and damper energy..... 1.00000E-20
hourglass energy ..... 2.01280E+00
system damping energy..... 0.00000E+00
sliding interface energy..... 4.56834E+00
external work..... 0.00000E+00
eroded kinetic energy..... 0.00000E+00
eroded internal energy..... 0.00000E+00
eroded hourglass energy..... 0.00000E+00
total energy..... 3.89973E+02
total energy / initial energy.. 9.99931E-01
energy ratio w/o eroded energy. 9.99931E-01
global x velocity..... -1.35305E-03
global y velocity..... -3.99316E+00
global z velocity..... -1.56410E-03
cpu time per zone cycle..... 89018302 nanoseconds
average cpu time per zone cycle... 11982 nanoseconds
average clock time per zone cycle.. 11999 nanoseconds

estimated total cpu time      =      3467 sec <      0 hrs 57 mins>
estimated cpu time to complete =      3240 sec <      0 hrs 54 mins>
estimated total clock time    =      3471 sec <      0 hrs 57 mins>
estimated clock time to complete =      3244 sec <      0 hrs 54 mins>

```

图 7-3 显示计算过程的窗口

## 7.4 写重新启动文件

要执行重新启动，需要有重新启动文件。对于不同的场合，可以用不同的方法写重新启动文件。下面介绍写重新启动文件的常用方法。

当完成整个计算（对 k 文件的求解）后，程序会自动写出一个重新启动文件。该重新启动文件保存了计算完成时刻的所有相关信息，下次重新启动时需要导入该文件（如需要延长计算时间）。该文件与计算结果文件保存在相同的目录下。该重新启动文件的名称为“d3dump”（可能是“d3dump01”或“d3dump02”等，视情况而定）。“d3dump”后面的数字越大，表示该重新启动文件越晚写出。一个计算中可能会写出多个重新启动文件。

在程序计算过程中也可以写重新启动文件。比如，写一个重新启动文件后暂时退出计算，或者一边计算一边写重新启动文件（隔一段时间写一个重新启动文件），以防突然断电造成数据丢失。在计算 k 文件过程中，使用“Ctrl+C”键，然后输入“sw3”（见图 7-4 最后一行），再按回车键。程序将写出一个“d3dump”文件，然后继续执行剩余的计算；在 k 文件计算过程中，使用“Ctrl+C”键，然后输入“sw1”，再按回车键。程序将写出一个“d3dump”文件，然后退出计算。

有时需要每隔一段时间让程序自动写出一个“d3dump”文件，这是因为某些仿真模型的计算量非常大（几天甚至几个月），一旦出现断电就可能从头开始计算，因此浪费很多时间。可以在 ANSYS LS-DYNA 模块中设置此项，执行 Main Menu> Solution> Output Controls> Number of Steps，弹出“Specify File Output Frequency”窗口（见图 7-5）。在该窗口中“Specify Restart Dump Output Interval:”后的方框中输入“5”，然后单击“OK”按钮。这个“5”表示将整个计算时间平均分为 5 段，每隔一段时间程序自动输入一个重新启动文件。

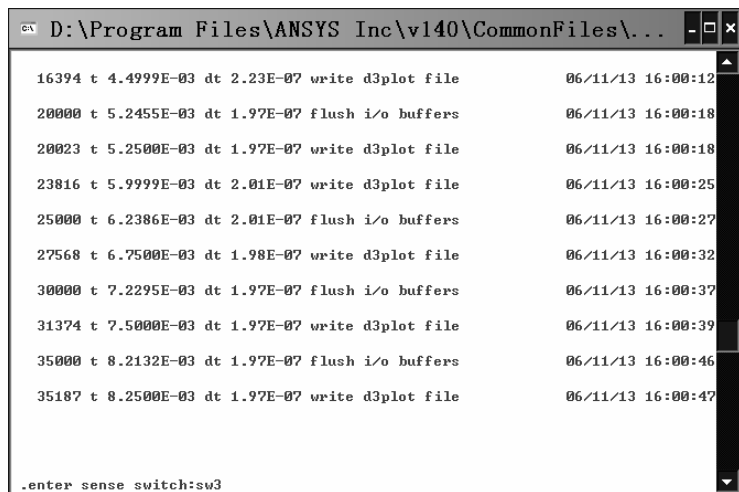


图 7-4 显示计算过程的窗口

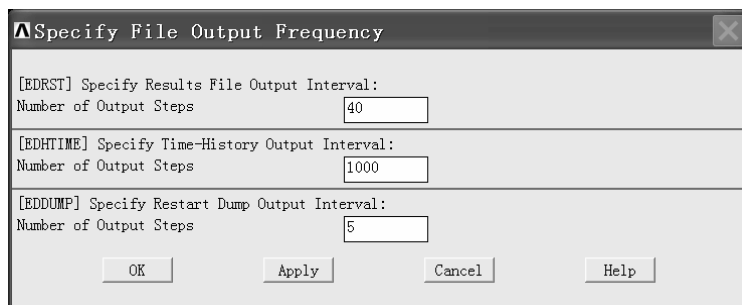


图 7-5 “Specify File Output Frequency” 窗口

## 7.5 k 文件的修改

k 文件中包含了模型的所有信息，计算模型时通常只需要导入 k 文件。k 文件可以用记事本软件打开，熟练掌握 k 文件后，使用者可以方便地修改模型，如修改材料属性、初始条件、板壳厚度、接触、计算时间等。修改后的 k 文件可以直接用于计算。首先认识一下 k 文件，如图 7-6 所示。



图 7-6 k 文件



```

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                               SECTION DEFINITIONS                               $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SECTION_SHELL
      1          2      1.0000      5.0          0.0          0.0          0
    0.100E-02  0.100E-02  0.100E-02  0.100E-02  0.00
*SECTION_SOLID
      2          1
$

```

```
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$  
$                               SECTION DEFINITIONS                              $  
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$  
$  
*SECTION_SHELL  
1          2      1.0000        5.0         0.0           0.0            0  
0.200E-02 0.200E-02 0.200E-02 0.200E-02 0.00  
*SECTION_SOLID  
2              1  
$
```

如图 7-9 所示, “\*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC”关键字定义了材料的属性(该关键字可以用于满足某种本构关系的材料, 还有其他关键字用于其他相应的材料)。该关键字下方第一个数字“1”表示 Part 的序号; 第二个数字“0.780E+04”为材料密度; 第三个数字“0.200E+12”为杨氏模量。如图 7-10 所示, 可以方便地修改 Part1 的密度和杨氏模量。其他数字的具体含义可查看 LS-DYNA 的 k 文件关键字手册。

```
$
*MAT_PLASTIC_KINEMATIC
1 0.780E+04 0.200E+12 0.300000 0.200E+09 0.200E+09 1.00
0.00 0.00 0.00
```

```
$
*MAT_PLASTIC_KINEMATIC
1 0.500E+04 0.100E+12 0.300000 0.200E+09 0.200E+09 1.00
0.00 0.00 0.00
```

如图 7-11 所示, “\*INITIAL\_VELOCITY” 关键字用于定义模型的初速度。图 7-11 表示 Part2 沿 Y 方向的初速度为 “-5”。如图 7-12 所示, 可以将沿 Y 方向的初速度改为 “-8”。

| *INITIAL VELOCITY |       |      |      |      |      |      |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|
| 0.00              | 2     | 0    | 0    |      |      |      |
| 0.00              | -5.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

## 视频教学

| *INITIAL_VELOCITY |   |       |   |   |      |      |
|-------------------|---|-------|---|---|------|------|
| 0.00              | 2 | -8.00 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |

图 7-12 k 文件, 修改后的初速度

下面以一个例子来介绍关键字的格式规定, 这非常重要。图 7-13 中两条竖线之间有 10 个字符的空间。图中的“-8.00”可以写在其左右两条竖线内的任何位置。一旦“-8.00”超出这两条线就发生了格式错误, 其他数字的位置也只能落在一定的范围内(具体见 k 文件关键字手册)。

| *INITIAL_VELOCITY |   |       |   |   |      |      |
|-------------------|---|-------|---|---|------|------|
| 0.00              | 2 | -8.00 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |

图 7-13 k 文件的格式示例

## 7.6 进入重启动

下面介绍重启动的操作方法。首先打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口(见图 7-14)。在窗口中“Simulation Environment:”下面的方框中选择“LS-DYNA Solver”, 在“License:”下面的方框中选择“ANSYS LS-DYNA”, 然后可以设置各种重启动方式。

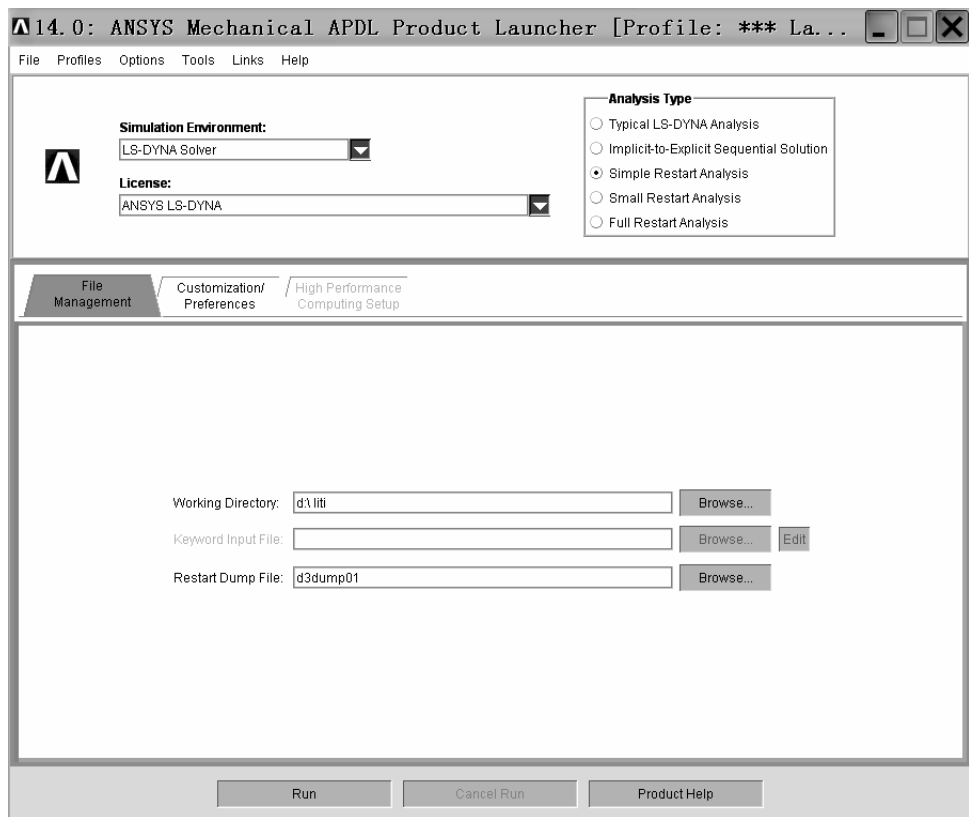


图 7-14 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口

对于简单重启动, 需要继续选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口中“Analysis Type”一栏中“Simple Restart Analysis”前面的单选框, 再在“Working Directory:”后的方框中找出工作目录, 最后在“Restart Dump File”后的方框中找出相应的重启动文件, 然后单击“RUN”按钮。

对于小型重启动, 需要继续选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口中“Analysis Type”一栏中“Small Restart Analysis”前面的单选框, 再在“Working Directory:”后的方框中找出工作目录, 接着在“Keyword Input File:”后的方框中找出相应的修改后的 k 文件, 最后在“Restart Dump File”后的方框中找出相应的重启动文件, 然后单击“RUN”按钮。

对于完全重启动, 需要继续选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口中“Analysis Type”一栏中的“Full Restart Analysis”前面的单选框, 其他设置与小型重启动的操作相同。

## 7.7 工程实例 1——简单重启动的操作方法

本实例演示了简单重启动的操作方法。光盘中给出了一个结果文件, 即 k 文件。要求: 首先计算 k 文件, 并在完成部分计算后终止计算程序, 同时写一个重启动文件, 最后使用简单重启动继续以前的计算, 直到完成整个计算过程。



起始文件

——附带光盘“Ch7\drop hammer one.db”



结果文件

——附带光盘“Ch7\drop hammer one.k”

将光盘中“Ch7”目录下的“drop hammer one.k”文件复制到计算机“D:\Ch7\drop hammer one”目录下。

### 1. 计算 k 文件

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹, 出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标(见图 7-15)。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标, 弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口。

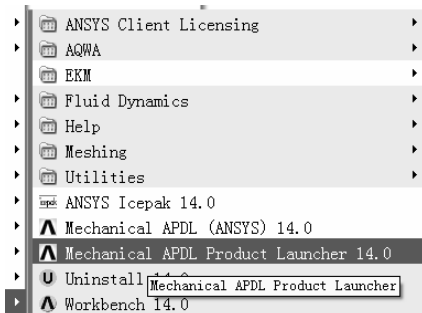


图 7-15 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口中

“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标,选中“LS-DYNA Solver”。

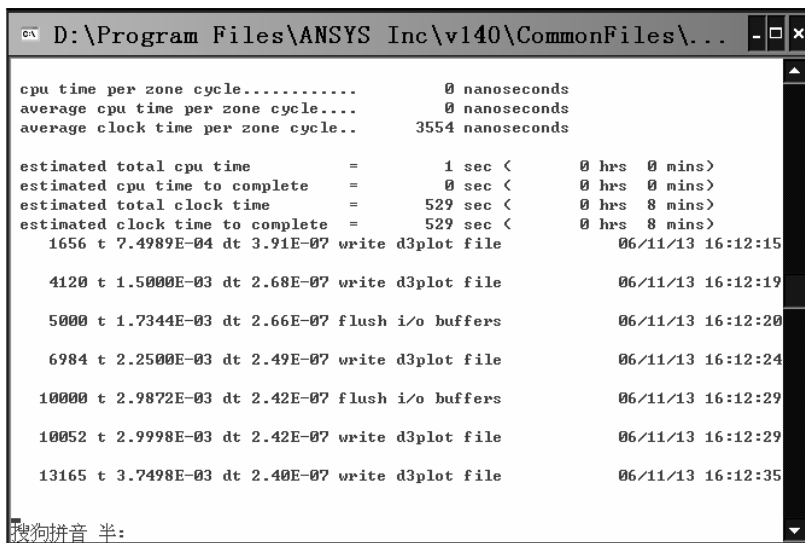
(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标,选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Analysis Type”一栏中“Typical LS-DYNA Analysis”前面的单选框。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer one”目录。

(6) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Keyword Input File:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer one”目录中的“drop hammer one.k”文件。

(7) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮,弹出显示计算过程的窗口(见图 7-16)。



```
cpu time per zone cycle.....          0 nanoseconds
average cpu time per zone cycle....    0 nanoseconds
average clock time per zone cycle..    3554 nanoseconds

estimated total cpu time      =      1 sec <      0 hrs  0 mins>
estimated cpu time to complete =      0 sec <      0 hrs  0 mins>
estimated total clock time    =    529 sec <      0 hrs  8 mins>
estimated clock time to complete =    529 sec <      0 hrs  8 mins>
1656 t 7.4989E-04 dt 3.91E-07 write d3plot file      06/11/13 16:12:15
4120 t 1.5000E-03 dt 2.68E-07 write d3plot file      06/11/13 16:12:19
5000 t 1.7344E-03 dt 2.66E-07 flush i/o buffers      06/11/13 16:12:20
6984 t 2.2500E-03 dt 2.49E-07 write d3plot file      06/11/13 16:12:24
10000 t 2.9872E-03 dt 2.42E-07 flush i/o buffers      06/11/13 16:12:29
10052 t 2.9998E-03 dt 2.42E-07 write d3plot file      06/11/13 16:12:29
13165 t 3.7498E-03 dt 2.40E-07 write d3plot file      06/11/13 16:12:35
搜狗拼音 半:
```

图 7-16 显示计算过程的窗口

## 2. 写重新启动文件

(1) 当 k 文件计算两分钟左右时,使用“Ctrl+C”键,并在显示计算过程的窗口中输入“sw1”。

(2) 紧接着按回车键,写出一个重新启动文件“d3dump01”,并结束对 k 文件的计算。再按键盘上的任意键关闭显示计算过程的窗口。以上所写的重新启动文件在 D:\Ch7\drop hammer one”目录中。

(3) 用“LS-PREPOST”后处理软件打开已经完成的计算结果,观察仿真动画。

## 3. 重新启动

(1) 打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口。

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标,选中“LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Analysis Type”一栏中“Simple Restart Analysis”前面的单选框。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer one”目录。

(6) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Restart Dump File:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer one”目录中的“d3dump01”文件。

(7) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮, 弹出显示计算过程的窗口。

(8) 一直等到计算结束, 再用“LS-PREPOST”后处理软件打开计算的结果, 观察整个仿真情况。

## 7.8 工程实例 2——小型重启动的操作方法

本实例演示了小型重启动的操作方法。光盘中给出一个结果文件, 即 k 文件。要求: 首先计算 k 文件, 直到完成整个计算过程时再改写 k 文件, 即重新设定计算时间 (以前的计算时间太短, 不能包含模型的整个撞击过程), 最后使用小型重启动继续以前的计算, 直到完成最终计算。



**结果文件**——附带光盘“Ch7\drop hammer two.k”

将光盘中“Ch7”目录下的“drop hammer two.k”文件复制到计算机“D:\Ch7\drop hammer two”目录下。

### 1. 计算 k 文件

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹, 出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标 (见图 7-17)。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标, 弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口。

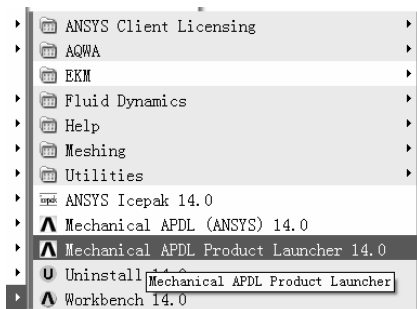
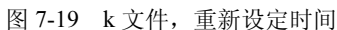
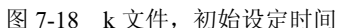


图 7-17 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标, 选中“LS-DYNA Solver”。

(8) 用“LS-PREPOST”后处理软件观察计算结果,发现仿真中的撞击过程还没有结束。因此,需要延长计算的时间。

(2) 找到 k 文件中的关键字“\*CONTROL\_TERMINATION”(用记事本中的查找命令)。如图 7-18 所示, k 文件中显示初始设定的计算时间为“0.015”(图中已经圈出“0.150E-01”)。现在将计算时间修改为“0.03”, 见图 7-19 中圈出的部分(“0.300E-01”, 务必严格按照图 7-19 所示的格式修改, 不多一个“0”, 也不少一个“0”), 保存并关闭 k 文件。



(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的

“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer two”目录。

(6) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Keyword Input File:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer two”目录中的“drop hammer two.k”文件。

(7) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Restart Dump File:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer two”目录中的“dump01”文件。单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮,弹出显示计算过程的窗口。

(8) 一直等到计算结束,再用“LS-PREPOST”后处理软件打开计算的结果,观察整个仿真情况。

## 7.9 工程实例 3——使用 k 文件修改仿真模型的方法

本实例演示了使用 k 文件修改仿真模型的方法。本例题中将修改模型的材料属性、板壳厚度及初始速度。光盘中给出了一个结果文件,即 k 文件。k 文件中包含了如下模型:一个落锤撞击一段方管。方管的一端完全固定。其中落锤的 Part 号为“2”,方管的 Part 号为“1”。要求:将落锤的撞击速度设为 6m/s,将方管的壁厚改为 0.002m,将方管的密度设为  $2700\text{kg/m}^3$ ,将方管的杨氏模量设为 180Gpa,并计算修改后的 k 文件。



**结果文件**——附带光盘“Ch7\drop hammer three.k”

将光盘中“Ch7”目录下的“drop hammer three.k”文件复制到计算机“D:\Ch7\drop hammer three”目录下。

### 1. 查看 k 文件中的模型

(1) 双击 LS-PREPOST 后处理软件的启动图标(见图 7-20),打开操作界面。单击“Background”下拉菜单,再单击“Plain”,将图形窗口的背景变为白色。



(2) 单击“LS-PREPOST”操作界面左上角的“File”下拉菜单,再将鼠标指向“Open”,最后用鼠标单击“LS-DYNA Keyword File Ctrl+K”(见图 7-21)。

图 7-20 “LS-PREPOST”图标

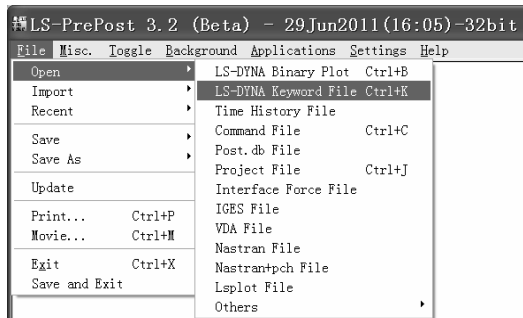


图 7-21 在“LS-PREPOST”中导出 k 文件

(3) 然后打开“D:\Ch7\drop hammer three”目录下的“drop hammer three.k”文件。图形窗口中显示出 k 文件中的模型（见图 7-22）。该模型中，一个六面体的落锤竖直向下撞击一段方管。

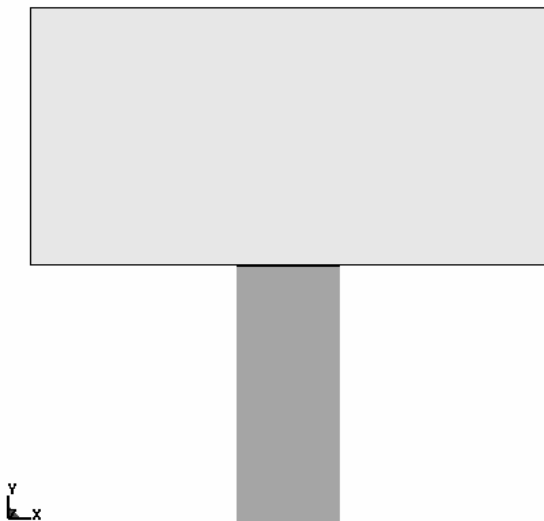


图 7-22 落锤竖直向下撞击方管

(4) 如图 7-23 所示，首先单击操作界面右侧的“SelPar”，继续单击“1 Part 1 for Ma”，图形窗口中只显示出方管模型，说明方管的 Part 号为“1”。继续单击“2 Part 2 for Ma”，图形界面中只显示出落锤，说明落锤的 Part 号为“2”。按住“Ctrl”键，并用鼠标左键将“1 Part 1 for Ma”、“2 Part 2 for Ma”一并选中，图形窗口中重新显示落锤和方管，退出“LS-PREPOST”。

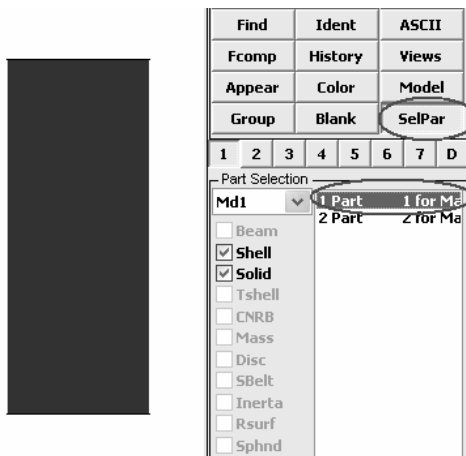


图 7-23 在图形窗口中只显示方管

## 2. 修改 k 文件中的模型

- (1) 用记事本打开“D:\Ch7\drop hammer three”目录中的“drop hammer three.k”文件。
- (2) 找到 k 文件中的关键字“\*SECTION\_SHELL”。如图 7-24 所示，k 文件中显示初



始设定的板壳厚度为“0.100E-02”（图中已经圈出，共有四个这样的数字）。现在将厚度改为“0.200E-02”（见图 7-25）。注意，在修改 k 文件时不要多出空格，或减少空格，或出现错格现象。

```
*SECTION_SHELL
1      2      1.0000      5.0      0.0      0.0      0
0.100E-02 0.100E-02 0.100E-02 0.100E-02 0.00
*SECTION_SOLID
```

图 7-24 k 文件，初始设定的板壳厚度

```
*SECTION_SHELL
1      2      1.0000      5.0      0.0      0.0      0
0.200E-02 0.200E-02 0.200E-02 0.200E-02 0.00
*SECTION_SOLID
```

图 7-25 k 文件，重新设定的板壳厚度

（3）找到 k 文件中的关键字“\*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC”。如图 7-26 所示，k 文件中显示初始设定的密度为“0.780E+04”，初始设定的杨氏模量为“0.200E+12”。现在将材料的密度与杨氏模量分别改为“0.270E+04”和“0.180E+12”（见图 7-27）。

```
*MAT_PLASTIC_KINEMATIC
1 0.780E+04 0.200E+12 0.300000 0.200E+09 0.200E+09 1.00
0.00 0.00 0.00
```

图 7-26 k 文件，初始设定的密度与杨氏模量

```
*MAT_PLASTIC_KINEMATIC
1 0.270E+04 0.180E+12 0.300000 0.200E+09 0.200E+09 1.00
0.00 0.00 0.00
```

图 7-27 k 文件，重新设定的密度与杨氏模量

（4）找到 k 文件中的关键字“\*INITIAL\_VELOCITY”。如图 7-28 所示，k 文件中显示 Part2（落锤）最开始的初始速度为“-5.00”。现将初始速度改为“-6.00”（见图 7-29），保存并关闭 k 文件。

```
*INITIAL_VELOCITY
2      0      0      0      0      0
0.00 -5.00 0.00 0.00 0.00 0.00
```

图 7-28 k 文件，初始设定的初速度

```
*INITIAL_VELOCITY
2      0      0      0      0      0
0.00 -6.00 0.00 0.00 0.00 0.00
```

图 7-29 k 文件，重新设定的初速度

### 3. 计算 k 文件

- （1）打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口。
- （2）单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“LS-DYNA Solver”。
- （3）单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。
- （4）选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中

“Analysis Type”一栏中的“Typical LS-DYNA Analysis”前面的单选框。

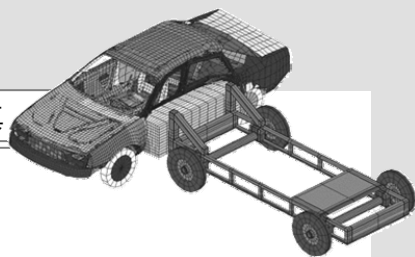
(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer three”目录。

(6) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Keyword Input File:”方框内找出“D:\Ch7\drop hammer three”目录中的“drop hammer three.k”文件。单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮，弹出显示计算过程的窗口。

(7) 一直等到计算结束，再用“LS-PREPOST”后处理软件打开计算的结果，观察整个仿真情况。

## 7.10 小结

本章主要介绍了 LS-DYNA 中重启的作用和操作方法，以及 k 文件的修改。如果计算模型特别大，强烈建议隔一定的时间写一个重启文件。有了重启文件以后，即使计算过程意外中断或者计算模型需要进一步修改，使用者也可以节省大量的计算时间。使用者应当熟练掌握 k 文件，以便利用 k 文件方便地修改计算模型。



## 第 8 章 后 处 理

完成 k 文件的计算以后，我们希望能够从计算结果中获取感兴趣的数据。本章将介绍“LS-PREPOST”后处理软件。使用该软件可以方便地处理 LS-DYNA 程序的计算结果文件。



### 本章内容

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| ➤ 用“LS-PREPOST”播放动画 | ➤ 在“LS-PREPOST”中编辑图表  |
| ➤ 用“LS-PREPOST”提取数据 | ➤ 用“LS-PREPOST”导出数据文件 |

## 8.1 LS-PREPOST 后处理软件

“LS-PREPOST”软件是专门针对 LS-DYNA 程序的一款后处理软件。“LS-PREPOST”软件功能完备，使用方便。该软件可以播放仿真动画，展示应力、应变云图。使用者可以利用该软件提取节点、单元和 Part 的相关信息（如应力、应变、速度、位移），或得到能量、接触力等信息。在“LS-PREPOST”中，操作者可以对图表进行编辑，或者导出相关的数据文件。本书中的所有后处理皆是在 LS-PREPOST3.2 中完成的。

## 8.2 操作界面

如图 8-1 所示，“LS-PREPOST”操作界面主要包括 6 部分：最上面一行为下拉菜单；显示动画的窗口为图形窗口；图形窗口的下侧为两行按钮，其中许多按钮用于控制图形的显示；再往下是视频播放工具条；最下侧为状态栏，它可以显示各种提示信息；操作界面右上方的一系列按钮为主要功能按键。本章主要介绍“LS-PREPOST”中最常用的功能，具体的使用方法见本章实例。

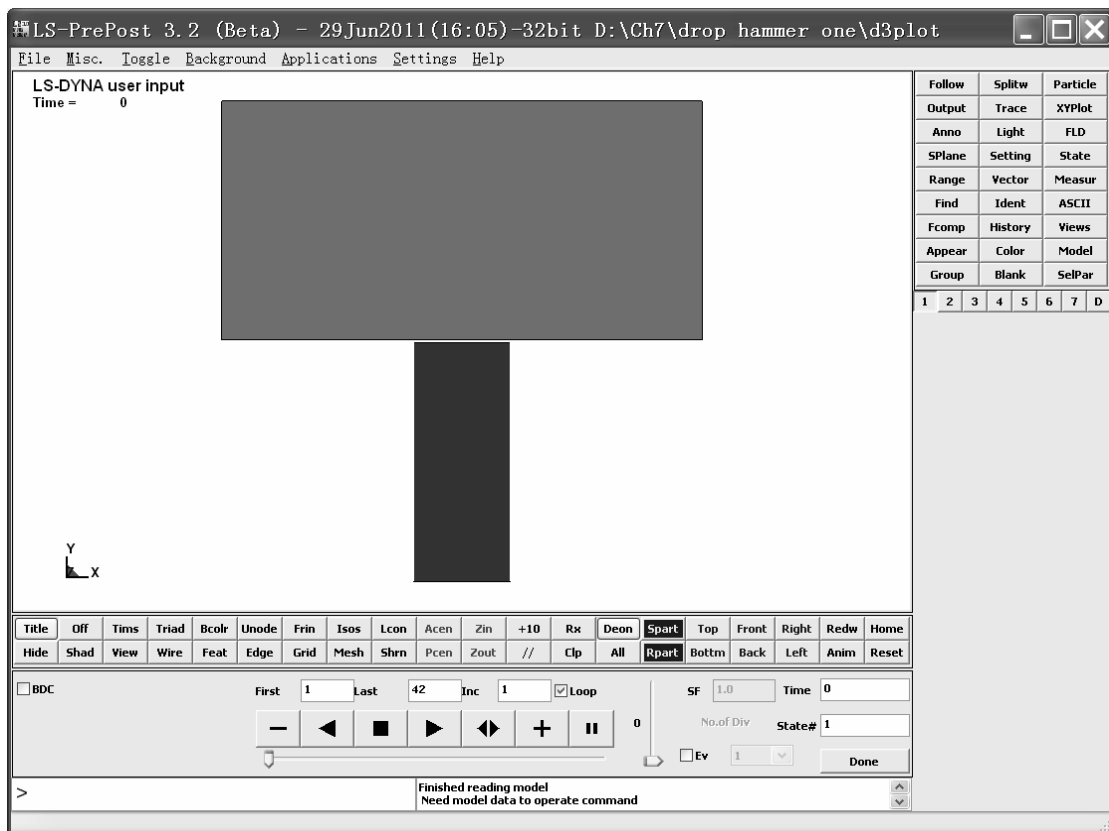


图 8-1 “LS-PREPOST”操作界面

## 8.3 k 文件的导入

在开始计算 k 文件之前最好先对 k 文件中的模型有一个大概的了解。用“LS-PREPOST”软件可以方便地查看 k 文件中的模型，但必须首先导入 k 文件。导入 k 文件的方法如下：用鼠标左键单击“LS-PREPOST”操作界面左上角处的“File”（见图 8-2），再将光标指向“Open”，然后单击“LS-DYNA Keyword File Ctrl+K”，最后找到相应的 k 文件，打开即可。

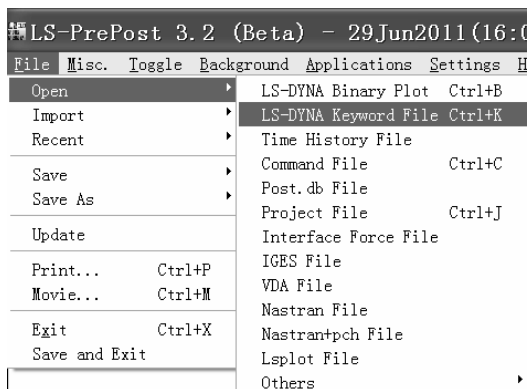


图 8-2 导入 k 文件的方法

## 8.4 导入后处理文件

在“LS-PREPOST”软件中导入后处理文件（计算结果文件）的方法是：用鼠标左键单击“LS-PREPOST”操作界面左上角处的“File”，再将光标指向“Open”，然后单击“Binary Plot Ctrl+B”，最后找到相应的“d3plot”文件打开即可。注意：后处理文件可能有很多个，如“d3plot01”、“d3plot02”、“d3plot03”等，而这里需要打开的是“d3plot”。当 k 文件的计算还没有全部结束时，也可以先打开已经计算好的后处理文件。最好不要将其他不相关的计算结果文件与当前计算结果文件放在同一个目录下，否则查看计算结果数据时可能出现混乱。

## 8.5 视频设置

在“LS-PREPOST”中播放仿真动画可以将有关信息直观地传达给操作者。下面简单介绍视频播放工具条的功能：如图 8-3 所示，“Last”后面的“42”表示动画共有 42 帧；尖头指向右侧的黑色三角形为动画播放键；黑色圆圈为暂停键；用鼠标左键单击“+”号，则动画切换一帧；沿竖直方向可以滑动的小块用于控制动画的播放速度；“Time”为当前动画画面对应的计算时间；“State#”表示当前动画画面对应的帧数。



图 8-3 视频播放工具条

## 8.6 视频输出

“LS-PREPOST”可以将动画保存为单独的视频文件（如 avi 格式的视频文件）。保存动画的操作方法为：用鼠标左键单击操作界面左上角的“File”，在弹出的下拉菜单中单击“Movie...”，弹出“Movie Dialog”窗口（见图 8-4）。在“Format:”后选择输出视频的格式，在“Size”后选择视频的画面大小，在“Frames/sec”后设置播放的速度，在“Pathname:”下面的方框中设置保存视频的目录，在“File Name:”下填写视频的文件名，然后单击“Start”按钮开始录制视频。

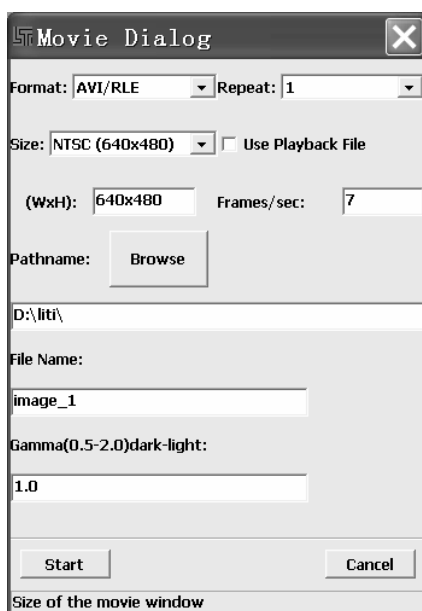


图 8-4 “Movie Dialog”窗口

## 8.7 查看各种结果

在“LS-PREPOST”中可以方便地查看各种物理量随时间变化的数据。“History”（见图 8-5）可以查看节点、单元、Part 和整个模型的相关信息。“ASCII”可以提取接触力、沙漏能等信息。“SelPar”可以单独地显示某些 Part。“Trace”可以显示节点的运动轨迹。“Fcomp”可以选择各种物理量的云图。它们的具体应用见本章中的实例。

|        |         |          |
|--------|---------|----------|
| Follow | Splitw  | Particle |
| Output | Trace   | XYPlot   |
| Anno   | Light   | FLD      |
| SPlane | Setting | State    |
| Range  | Vector  | Measur   |
| Find   | Ident   | ASCII    |
| Fcomp  | History | Views    |
| Appear | Color   | Model    |
| Group  | Blank   | SelfPar  |

图 8-5 常用的功能菜单

## 8.8 图片编辑

“LS-PREPOST”可以对提取的结果信息进行图表编辑和数据处理。如图 8-6 所示，单击“Title”可以对图表的坐标轴及图表名标注说明文字；单击“Scale”可以设定坐标轴的显示范围；单击“Oper”可以实现对数据的数学处理，如加、减、乘、除、微分、积分等；选择“Invert”可以反显图表的背景色。

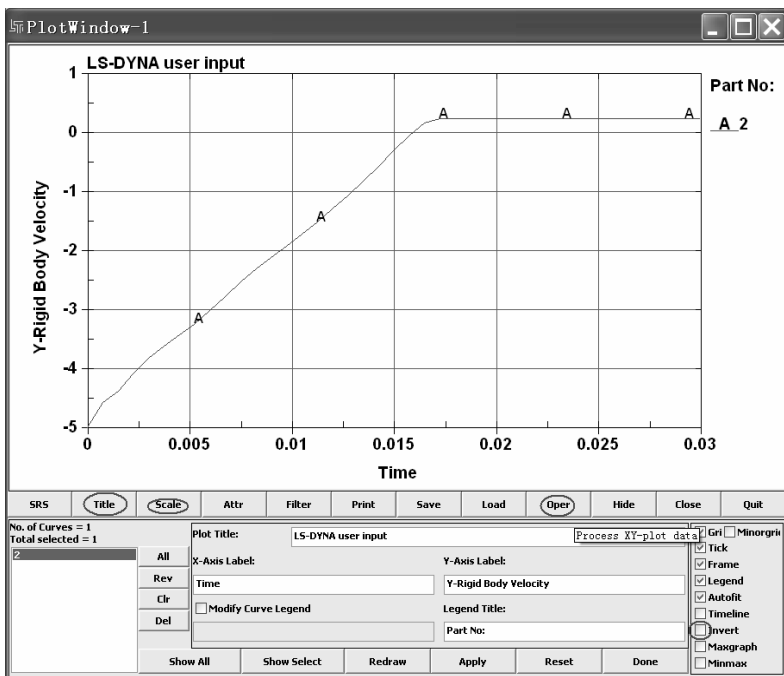


图 8-6 PlotWindow-1，图表编辑

## 8.9 输出数据文件

很多情况下，操作人员需要将 LS-DYNA 程序的某些计算结果导出，以便用于他处。

利用“LS-PREPOST”可以方便地导出数据。如图 8-7 所示,要求导出图中曲线的相应数据(该曲线表示某物体的质心速度随时间的变化)。单击曲线下方的“Save”(该“Save”位于“Load”与“Print”之间),弹出相应的设置选项。在“Path:”后的方框中填入数据文件的存储目录,在“Filename:”后的方框中写上数据文件的文件名(这里取名为“velocity”),然后选中左侧的“2”(选中后,它的背景变为深色。这里的“2”即为该曲线的名称,见图 8-7 右上角圆圈中的文字),最后单击最下方的“Save”按钮输出数据文件。

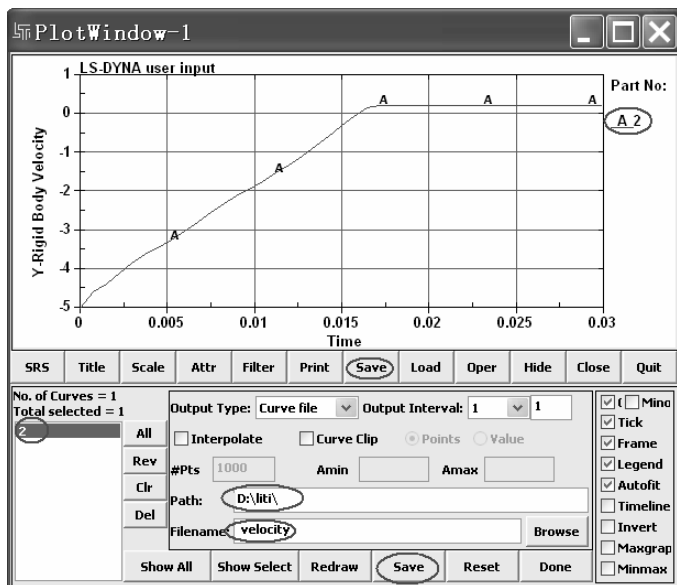


图 8-7 导出数据文件

在相应的目录中打开以上导出的“velocity”数据文件(用记事本打开)。打开后的文件显示在图 8-8 中。其中,左边一列数据为时间数组,右边一列数据为各时刻对应的质心速度。

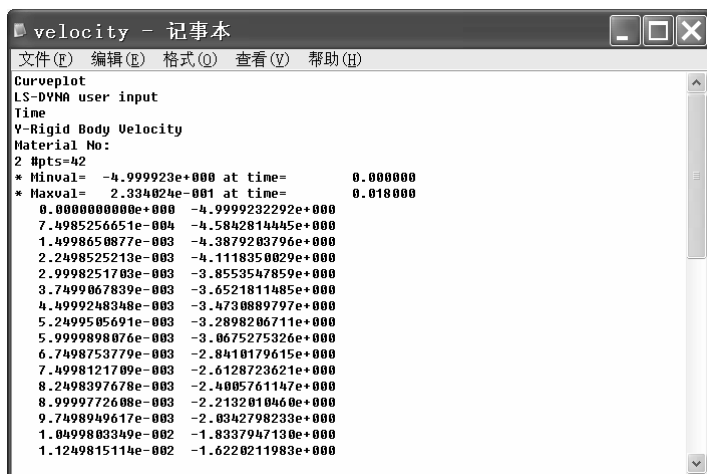
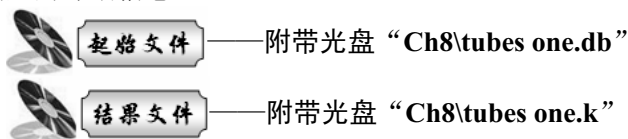


图 8-8 数据文件



## 8.10 工程实例 1——圆管撞击方管

本实例演示了查看 k 文件中计算模型的方法。附带光盘中给出了一个结果文件，即 k 文件。该文件中的模型包含一段方形管和一段圆管。其中圆管为同心双层管，且同心管之间有圆环形的筋板。圆管以某个初速度撞击方管。要求：在“LS-PREPOST”中查看 k 文件中模型的详细信息。



将光盘中“Ch8”目录下的“tubes one.k”文件复制到计算机“D:\Ch8\tubes one”目录下。

### 1. 导入 k 文件

(1) 双击“LS-PREPOST”软件的启动图标（见图 8-9），打开操作界面。



图 8-9 “LS-PREPOST”启动图标

(2) 单击操作界面左上角处的“File”（见图 8-10），再将光标指向“Open”，然后单击“LS-DYNA Keyword File Ctrl+K”，最后找出“D:\Ch8\tubes one”目录下的“tubes one.k”文件。打开该文件后，图形窗口中出现几何模型。

(3) 单击图形窗口上方“Background”下拉菜单，再单击“Plain”（见图 8-11），将图形窗口的背景变为白色（见图 8-12）。

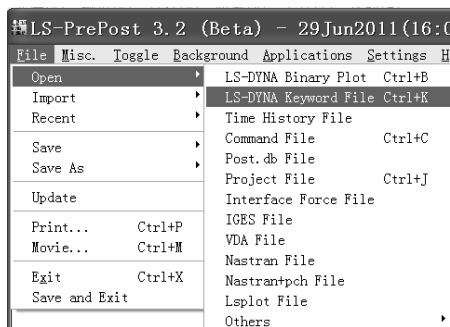


图 8-10 导入 k 文件的方法

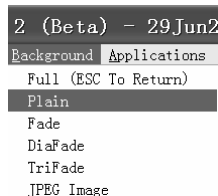


图 8-11 将背景颜色变为白色的方法

(4) 单击图形窗口下方的“Top”、“Front”、“Right”、“Bottom”、“Back”、“Left”按钮（见图 8-13），从不同的方向观看模型；单击“Reset”按钮，视图回到最初的状态（刚打开 k 文件时的状态）。

(5) 先按住键盘上的“Ctrl”键，保持不放，再按住鼠标中键，同时移动鼠标。这样可以自由地移动图形窗口中的视图。

(6) 先按住键盘上的“Ctrl”键，保持不放，再按住鼠标左键，同时移动鼠标。这样可以自由地转动图形窗口中的视图。

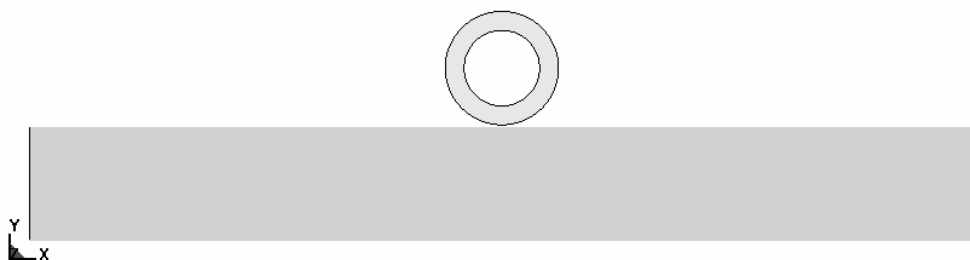


图 8-12 背景变为白色后

(7) 先按住键盘上的“Ctrl”键，保持不放，再按住鼠标右键，同时移动鼠标，这样可以自由地缩放图形窗口中的视图。

## 2. 查看模型的详细信息

(1) 单击操作界面右侧的“SelPar”（见图 8-14），然后分别单击“1Part 1for Ma”、“2Part 2for Ma”、“3Part 3for Ma”。图形窗口中将分别显示各个 Part。例如，单击“2Part 2for Ma”后，图形窗口中显示出 Part2，即圆筒的内管及筋板（见图 8-15）。



图 8-13 调整视图方位的按钮

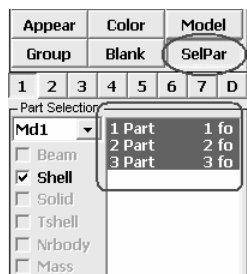


图 8-14 显示模型中的各个 Part

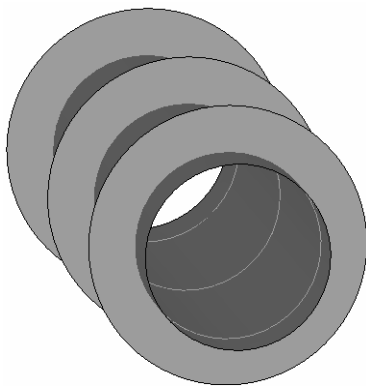


图 8-15 圆筒的内管及筋板

(2) 按住“Ctrl”键保持不放，用鼠标左键分别单击“1Part 1for Ma”、“2Part 2for Ma”、“3Part 3for Ma”，同时选中所有 Part（选中后背景变为深色）。图形窗口中显示出所有的模型。

(3) 单击图形窗口下方的“Mesh”按钮（见图 8-16），图形窗口中显示出模型的网格划分情况。再次单击“Mesh”按钮隐藏网格。

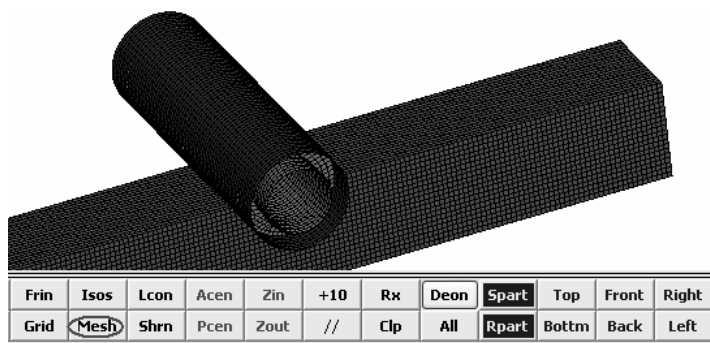


图 8-16 模型的网格划分情况

(4) 单击操作界面右侧的“Measur”(见图 8-17), 然后在“Item:”后的方框中选择“Dist N2N”, 接着用鼠标左键随便在图形窗口中的方管上单击选中两点(节点)。这两点之间的距离便显示在图中(如图 8-18 所示, 在操作界面最下方的状态栏中也有显示, 见图 8-19)。单击“Clear”按钮(见图 8-17)可以清除选中的节点。

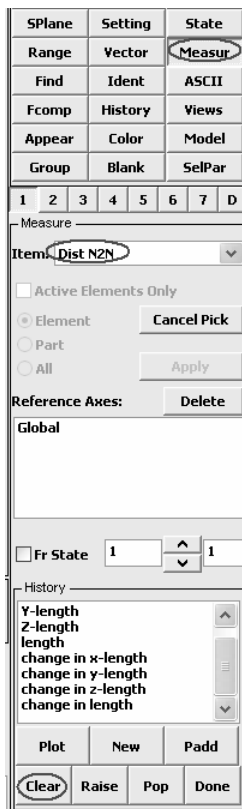


图 8-17 测量工具

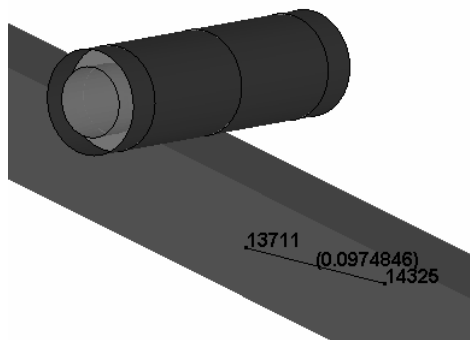


图 8-18 两节点之间的距离

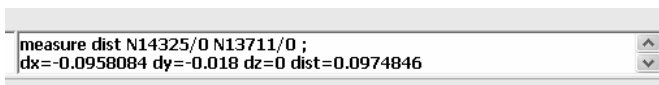


图 8-19 状态栏中显示两节点之间的距离

(5) 单击操作界面右侧的“Measur”(见图 8-20), 然后在“Item:”后的方框中选择“Area”, 接着选中 Part 前面的单选框, 然后用鼠标左键随便在图形窗口中的方管上单击一下(以此选中方管这个 Part)。状态栏中显示出方管的面积(见图 8-21)。按相似的操作, 在“Item:”后分别选择“Volume”、“Mass”, 便可以知道方管的体积和质量。



图 8-20 测量工具



图 8-21 状态栏中显示出方管的面积

## 8.11 工程实例 2——双层同心圆柱撞击方管

本实例演示如何查看 LS-DYNA 程序的计算结果文件。光盘中给出了一个结果文件, 即 k 文件。该 k 文件中包含的模型为: 一段双层同心圆柱以一定的初速度撞击一段方管。要求: 首先计算 k 文件, 然后再查看计算结果文件的各种信息。



**起始文件**

——附带光盘“Ch8\tubes two.db”



**结果文件**

——附带光盘“Ch8\tubes two.k”

将光盘中“Ch8”目录下的“tubes two.k”文件复制到计算机的“D:\Ch8\tubes two”目录下。

### 1. 计算 k 文件

- (1) 打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口。
- (2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标, 选中“LS-DYNA Solver”。
- (3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS LS-DYNA”。
- (4) 选中“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Analysis Type”一栏中“Typical LS-DYNA Analysis”前面的单选框。
- (5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch8\tubes two”目录。
- (6) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的

“Keyword Input File:”方框内找出“D:\Ch8\tubes two”目录中的“tubes two.k”文件。

## 2. 导入计算结果文件

(1) 用鼠标左键双击 LS-PREPOST 软件的启动图标 (见图 8-22), 打开操作界面。

(2) 用鼠标左键单击操作界面左上角处的“File”, 再将光标指向“Open”, 然后单击“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”, 最后找出“D:\Ch8\tubes two”目录下的“d3plot”文件。打开该文件后, 图形窗口出现几何模型。

(3) 单击图形窗口上方的“Background”下拉菜单, 再单击“Plain”, 将图形窗口的背景变为白色 (见图 8-23)。



图 8-22 LS-PREPOST  
启动图标

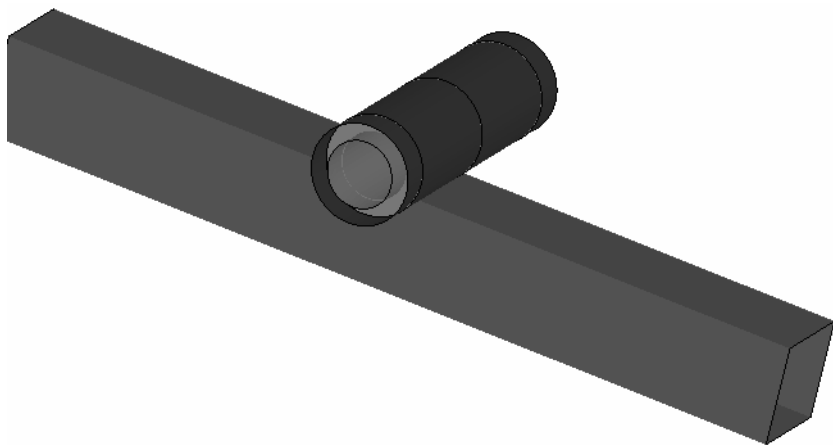


图 8-23 圆筒和方管

## 3. 查看随时间变化的云图

所谓云图, 就是将某种物理量的相关信息用颜色各异的图像直观地展示出来, 如结构的应力云图就是用不同的颜色覆盖在结构的表面, 不同颜色代表不同的应力范围。

(1) 如图 8-24 所示, 用鼠标左键单击操作界面右侧的“Fcomp”, 再单击“Stress”, 然后单击“von mises stress”, 最后单击视频工具条中的播放按钮。图形窗口中展示出不同时刻结构上的应力云图。用相似的方法还可以查看应变云图、压力云图及塑性应变云图等。

(2) 在动画播放过程中单击“SelPar” (见图 8-25), 再单击“2Part 2for Ma”, 图形窗口中显示出内圆管和筋板的应力云图。按住“Ctrl”键保持不放, 同时单击左键一并选中图 8-25 中的“1Part 1for Ma”、“2Part 2for Ma”、“3Part 3for Ma”, 此时图形窗口中显示出所有的模型。单击视频工具条中的暂停键, 停止视频播放。

## 4. 提取各种数据

(1) 如图 8-26 所示, 单击操作界面右侧的“History”, 然后选中“Nodal”前面的单选框, 再选中“Y-velocity”, 然后用鼠标左键在方管中部附近单击一下 (即选中一个节点, 如果选的节点不令人满意, 可单击“Clear”按钮清除选中的节点, 然后再选择其他节点)。单击“Plot”按钮, 弹出“PlotWindow-1”窗口 (见图 8-27)。

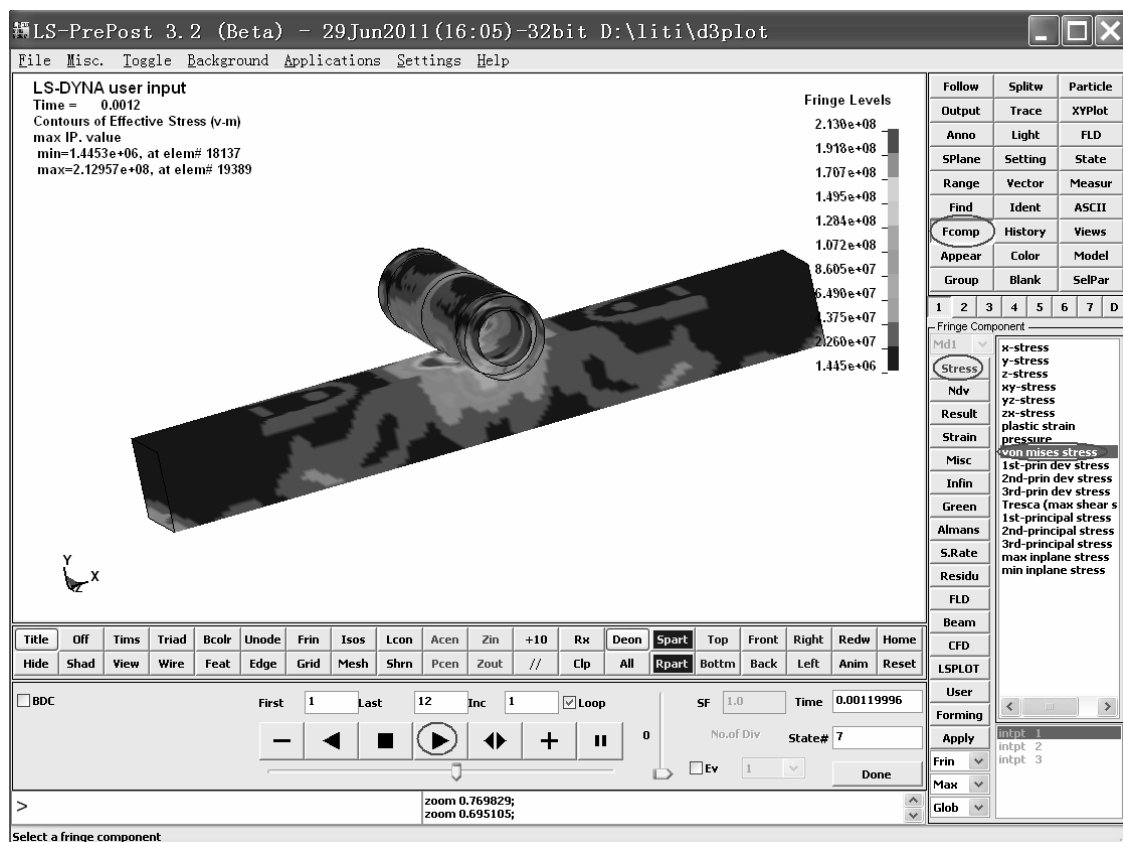


图 8-24 随时间变化的云图

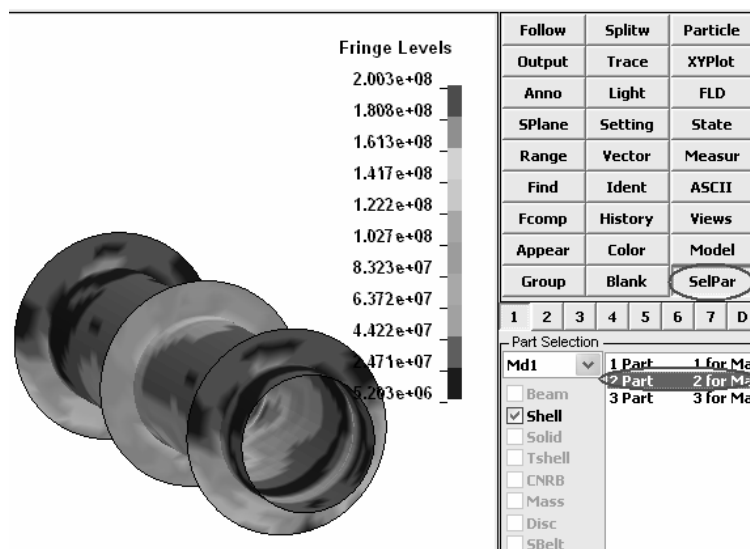


图 8-25 查看各个 Part 的云图

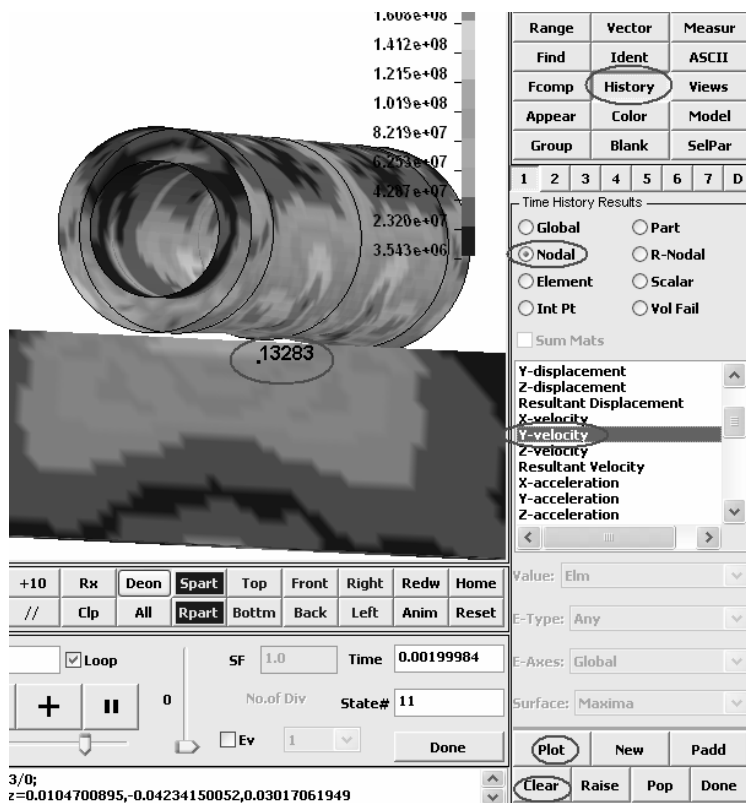


图 8-26 提取节点的速度

(2) 图 8-27 所示的曲线表示以上所选节点沿竖直方向 (Y 方向) 的速度随时间的变化情况。单击 “PlotWindow-1” 窗口右上角的叉号关闭该窗口。

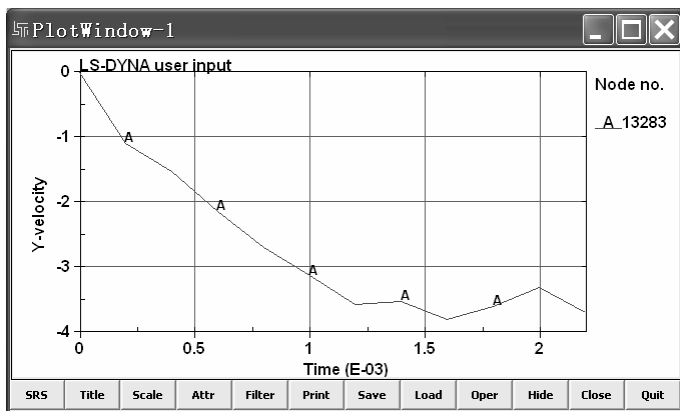


图 8-27 “PlotWindow-1” 窗口，速度随时间的变化

(3) 如图 8-28 所示，用鼠标左键单击打开 “History”，再选中 “Part” 前面的单选框，继续单击选中 “Part Kinetic Energy”，用鼠标左键单击一下图形窗口中的方管（方管被单击后，其边沿变亮，表示方管被选中），然后单击 “Plot” 按钮，弹出 “PlotWindow-1” 窗口（见图 8-29）。

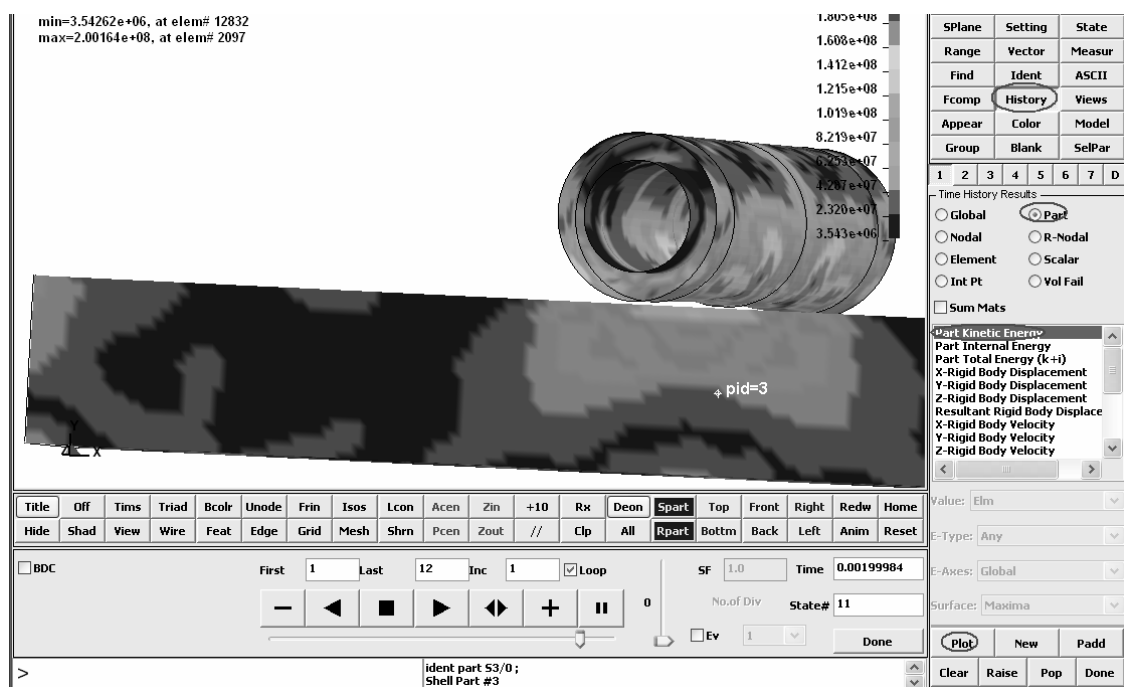


图 8-28 提取 Part 的动能

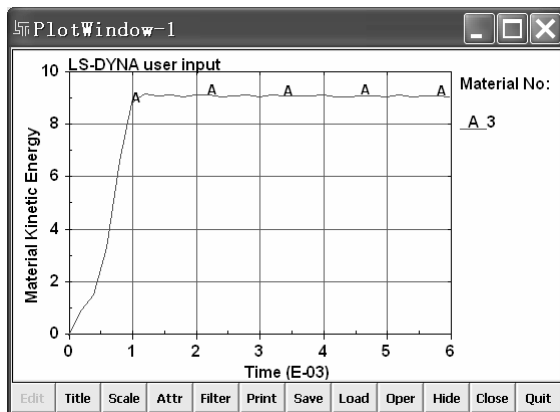


图 8-29 “PlotWindow-1”窗口，被选 Part 的动能随时间的变化

(4) 图 8-29 表示被选中的 Part 的动能随时间的变化。用相似的操作可以提取其他随时间变化的信息。

(5) 如图 8-30 所示，用鼠标左键单击操作界面右侧的“ASCII”，继续单击选中“matsum\*”（图 8-30 中显示为“(1) matsum\*”），单击“Load”按钮，再单击选中“3”，接着单击选中“3-Hourglass Energy”，最后单击“Plot”按钮，弹出“PlotWindow-1”窗口（见图 8-31）。

(6) 图 8-31 的曲线表示 Part3 的沙漏能随时间的变化。用相似的方法也可以提取接触力等信息。关闭“PlotWindow-1”窗口。



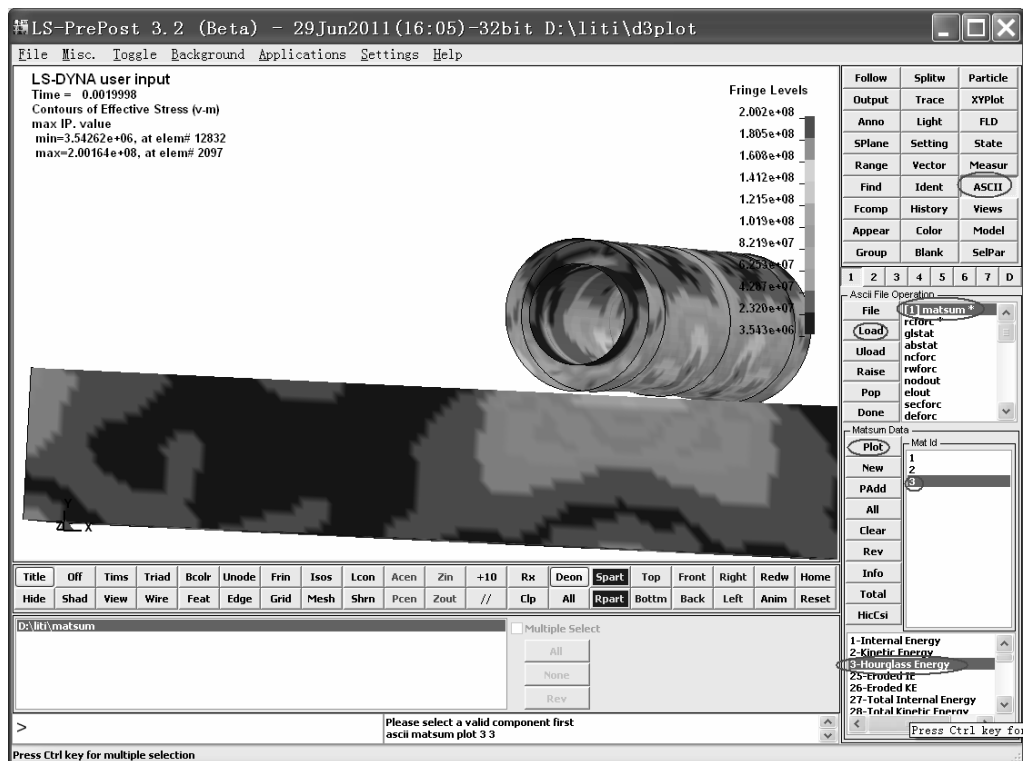


图 8-30 提取 Part 的沙漏能

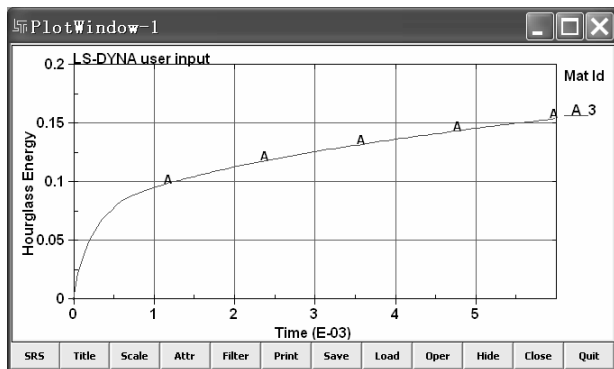


图 8-31 “PlotWindow-1”窗口，被选 Part 的沙漏能随时间的变化



## 应用 · 技巧

“ASCII”与“History”中的一些结果信息比较相似（如“Kinetic Energy”、“Y-rigid Body Velocity”等）。通常“ASCII”中数据的采样率可以设置得比较高（即在一定的时间内可以多保存一些数据点），这样不会明显增加存储空间，而 History 中数据点的个数与动画的帧数相同，提高 History 中数据的采样率将大大增加存储空间。

## 5. 查看节点的运动轨迹

(1) 如图 8-32 所示, 用鼠标左键单击操作界面右上方的“Trace”按钮, 然后在图形窗口中的模型上随便选出几个点, 再单击视频播放按钮, 动画显示出所选各点的运动轨迹(见图 8-33)。

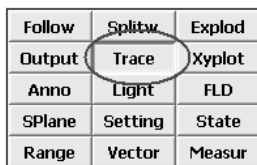


图 8-32 跟踪节点的运动轨迹

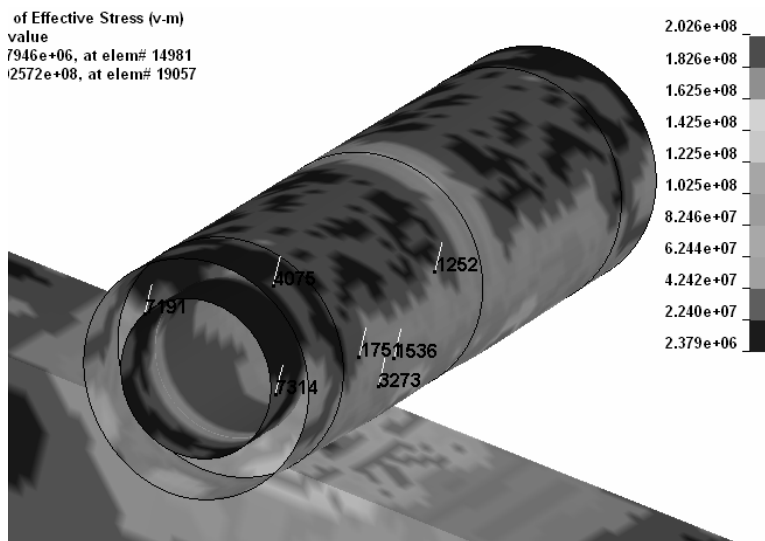


图 8-33 节点的运动轨迹

(2) 如图 8-34 所示, 用鼠标左键单击操作界面右下方的“Clear Trace”按钮, 该操作可以清空所选节点的轨迹。如果要选取其他节点并查看其轨迹, 需要先停止动画播放。

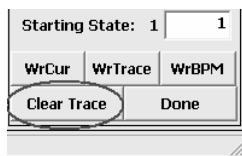
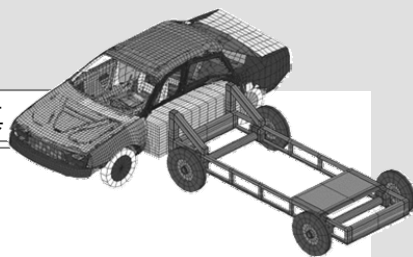


图 8-34 清除所选节点

## 8.12 小结

本章介绍了“LS-PREPOST”后处理软件的常用功能及操作方法。利用该软件可以查看 LS-DYNA 程序的 k 文件和计算结果文件。在“LS-PREPOST”中可以播放云图的动画, 可以提取各种物理量的数据, 可以查看模型细节, 还可以编辑图表和导出数据文件。



## 第 9 章 综合实例 A

本章将给出两个仿真实例。借助这两个实例，作者将介绍使用 LS-DYNA 进行仿真分析的基本规划。本章主要指出如何提取问题的主要矛盾及如何有效地解决问题，而重点不在于介绍软件的详细操作步骤。与实际工程相比，本章中给出的模型做了大量简化，但这里给出的方法与思路是很实用的。上机练习本章的实例有较大的困难。本章只要求初学者浏览例题的整个分析处理过程，从全局上把握。读者可以上机练习第 10 章中的综合实例，那里给出了详细的操作步骤。



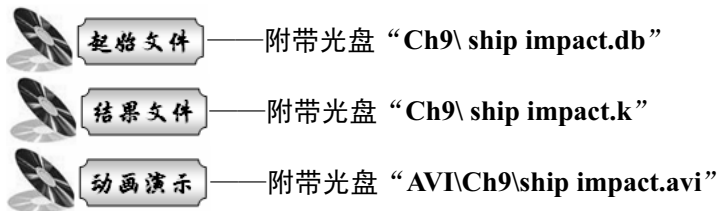
### 本章内容

- 对模型的整体规划
- 对模型的适当假设

- 建模的技巧

## 9.1 综合实例 1——船舶撞击桥墩

在世界范围内，船舶撞击桥墩的事故是经常发生的。这种事故往往造成桥毁、船沉、人亡等重大事故。用仿真的方法计算船舶的撞击力，可以为桥梁设计及防护提供参考依据。与实船撞击实验相比，仿真可以节省时间、费用，而且可以方便地模拟各种撞击工况。



### 9.1.1 问题描述

一艘千吨级散货船以 5m/s 的速度撞击在一个桥墩上。在撞击初始时刻，船的纵轴线（船的首尾连线）与被撞击面的法线成  $45^\circ$  角，且桥墩的刚度很大。要求：计算船桥之间的撞击力。

问题分析：要对一个工况进行模拟首先必须详细了解该工况中的各个相关物体。例如，船到底是怎样的船，其内部结构细节是怎样的，其使用的材料是怎样的，它的货物是怎样分布的；桥墩的具体结构是怎样的，它的材料是怎样的，它的边界条件怎样。其次必须找出问题的主要方面，合理地舍去次要方面，并做适当的假设。例如，是否考虑水的影响，是否考虑重力对撞击过程的影响，能否把桥墩视为刚体。在实际工程中，以上两点都是必须仔细思考的。

对于本例题，这里做如下处理。

将船的结构简化，并将船头设为变形体，船身设为刚体。这是因为变形一般发生在船头。整个船用板壳单元来划分网格。

将桥墩视为刚体，因为它的变形远小于船头的变形，还可以进一步将桥墩简化为一块固定不动的刚性板。

忽略流体及重力对撞击过程的影响。

因为船身主要在水平面内运动，所以这里限制船身的其他运动自由度。

### 9.1.2 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 9-1）。

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

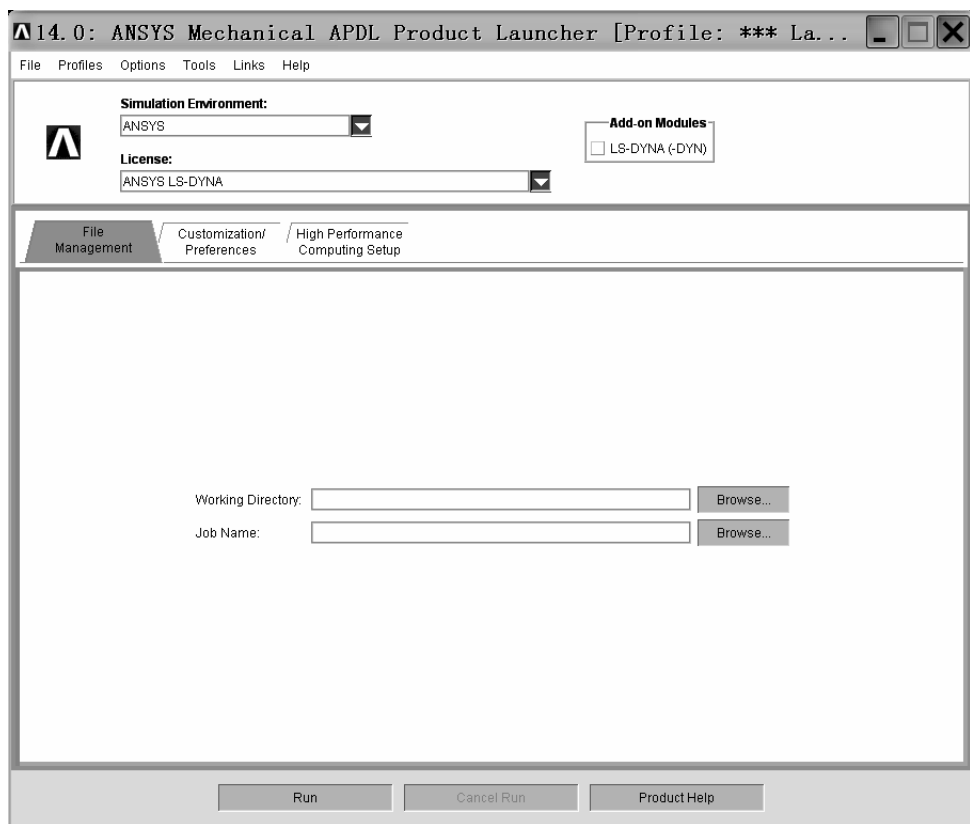


图 9-1 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...” 窗口

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\Ch9\ship impact”。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内输入“ship impact”。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮。

### 9.1.3 建立模型

(1) 选择单元类型。将船头、船身、桥墩（固定的刚性板）的单元都分别选为板壳单元（Thin Shell 163）。

(2) 设定实常数。对船头、船身、桥墩（固定的刚性板）的单元分别设定为常数，这样可以便于分别修改模型各部分的板壳厚度。比如，可以用修改船身板壳厚度的方法来调整船体的质量。

(3) 定义材料。船头为双线性材料。船身为刚体材料，并且该刚体只能在水平面内运动。桥墩定义为刚体，并约束它的所有自由度。

(4) 建立几何模型。如图 9-2 所示，先建立船体底部的 5 个关键点（0，0，0），（10，-5，0），（10，5，0），（60，-5，0），（60，5，0）。



图 9-2 船体底部的 5 个关键点

(5) 如图 9-3 所示, 再建立船体顶部的 5 个关键点  $(-5, 0, 6)$ ,  $(10, -5, 6)$ ,  $(10, 5, 6)$ ,  $(60, -5, 6)$ ,  $(60, 5, 6)$ 。



图 9-3 船体顶部的 5 个关键点

(6) 如图 9-4 所示, 连接相应的关键点, 生成船体侧面。

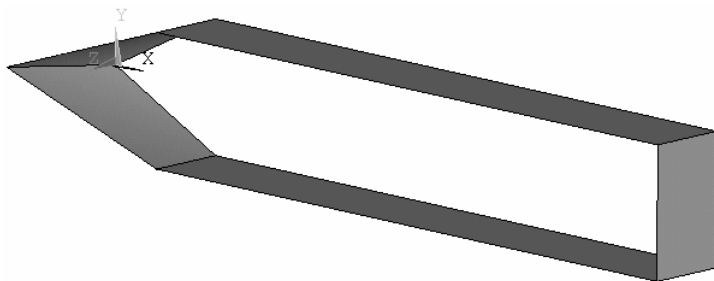


图 9-4 船体侧面

(7) 如图 9-5 所示, 连接相应的关键点, 生成船底。

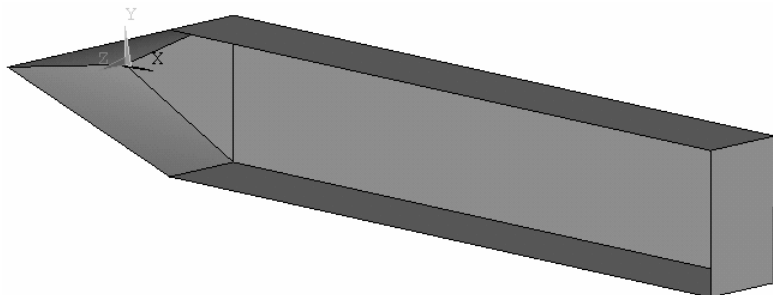


图 9-5 生成船底

(8) 建立一块方板 (见图 9-6), 它的关键点为  $(10, -8, 3)$   $(10, 8, 3)$   $(-10, 8, 3)$   $(-10, -8, 3)$ 。

(9) 用 **Partition** 命令裁去方板的多余部分, 保留另一部分作为船头的中间甲板 (见图 9-7), 再用 **Glue** 命令胶结所有的板。

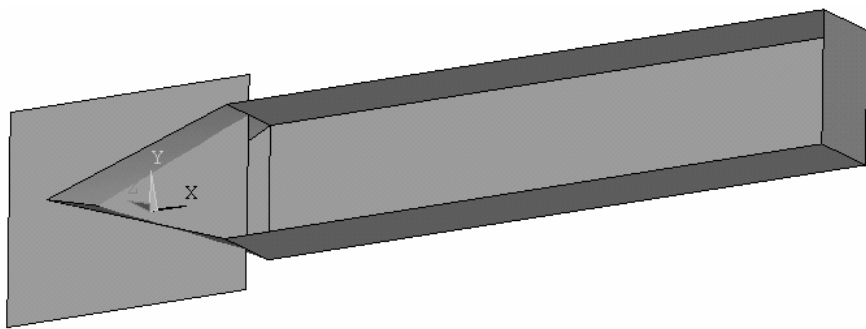


图 9-6 建立一块板

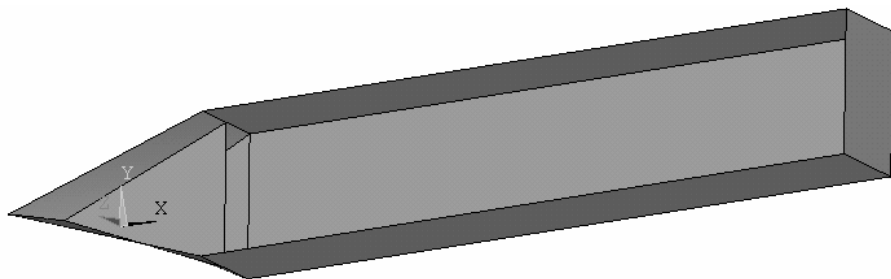


图 9-7 建立船头中间甲板

(10) 如图 9-8 所示, 使用关键点建立船头的上甲板并建立桥墩 (一块板)。桥墩板的四个顶点的坐标为  $(-0.5, 5, 6.5)$ ,  $(-20.5, -15, 6.5)$ ,  $(-0.5, 5, 0)$ ,  $(-20.5, -15, 0)$ 。

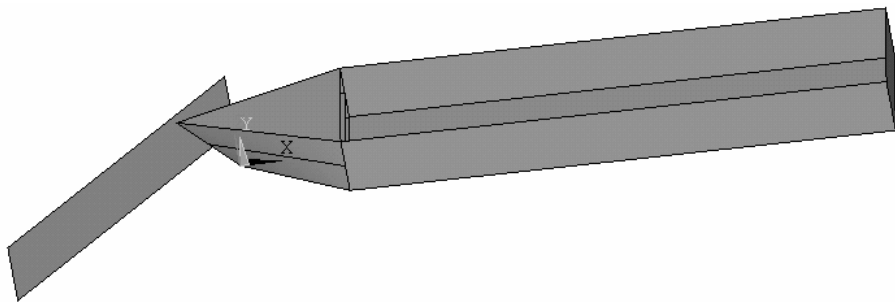


图 9-8 建立船头的上甲板与桥墩板

### 9.1.4 划分单元

如图 9-9 所示, 船头的网格应当细密一些, 船身与桥墩板的网格可以粗一些。

### 9.1.5 工况设置

- (1) 生成 Part。船头、船身、桥墩板各为一个 Part。
- (2) 设置初始速度。船头、船身都应当设置沿 X 方向的初始速度“-5”。
- (3) 设置接触。船头与桥墩之间设置面面自动接触。

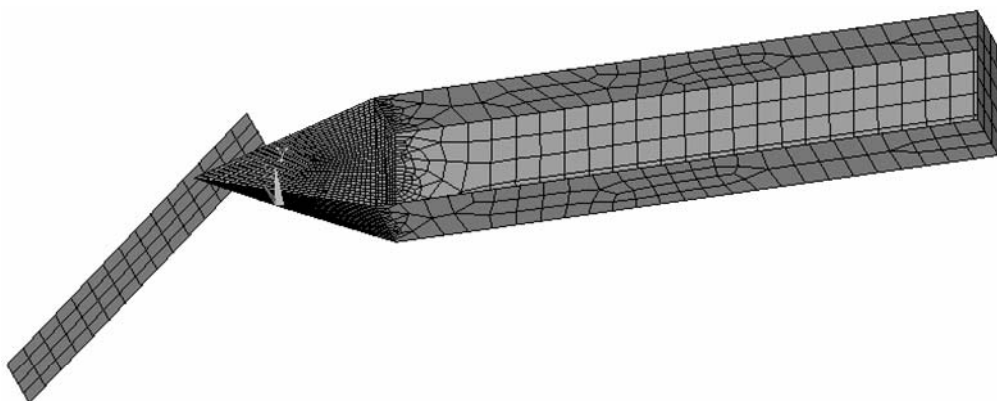


图 9-9 模型网格划分

### 9.1.6 求解设置

(1) 沙漏控制。依次选择 Main Menu>Solution>Analysis Options >Hourglass Ctrl>Global。

(2) 设定输出文件类型。依次选择 Main Menu>Solution>Output Controls>Output File Types。

(3) 文件保存设置。依次选择 Main Menu>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps。在弹出窗口的第一个方框中输入“100”，在第二个方框中输入“1000”。

(4) 保存接触力、沙漏能等数据的设置。依次选择 Main Menu>Solution>Output Controls>ASCII Output。如图 9-10 所示，选中“Material energy”、“Resultant forces”两项。

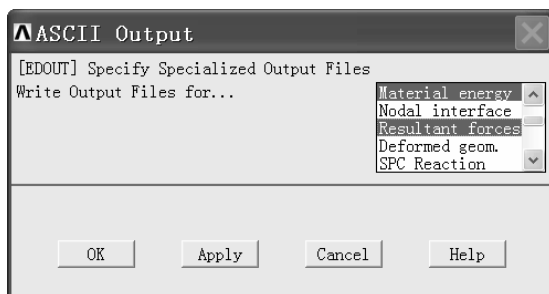


图 9-10 “ASCII Output”窗口

(5) 设置计算时间为“3”。

(6) 输出 k 文件。

### 9.1.7 后处理

(1) 待 k 文件完成计算后，在后处理软件中观察仿真动画。

(2) 观察模型中的沙漏能与接触力曲线（见图 9-11）。



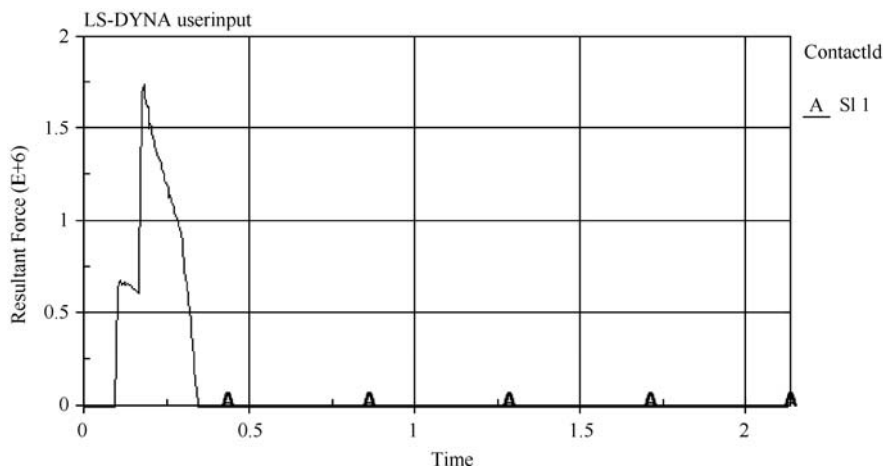


图 9-11 沙漏能与接触力曲线

## 9.2 综合实例 2——电子产品跌落分析

跌落分析是电子产品可靠性设计中非常重要的一部分。电子产品在跌落时受到的撞击力可能远大于自身的重力，因此常常忽略重力对撞击过程的影响。跌落分析常常需要计算物体的整体加速度。例如，如果某一电子产品跌落时的加速度超过某个界限，则认为该产品有可能被损坏。有时也需要分析同一电子产品中不同零部件所受到的加速度。



**起始文件**——附带光盘 “Ch9\ cell phone drop.db”



**结果文件**——附带光盘 “Ch9\ cell phone drop.k”



**动画演示**——附带光盘 “AVI\Ch9\cell phone drop.avi”

### 9.2.1 问题描述

一个手机以 6m/s 的初速度撞击在混凝土地面上。要求：分析撞击过程中手机不同部位的加速度。

问题分析：对于本演示例题，这里将手机的内部结构简化为一块板。为了分析手机各部分的加速度，最好将手机内部结构分成多个 Part，这样可以便于在后处理软件中观察各个 Part 的加速度情况。

建模时做如下处理：

手机分为上壳、下壳、手机内板。其中将手机内板分为若干个 Part。

手机下壳、手机内板连接在一起；手机上壳、下壳在四个拐角处连接在一起。

给整个手机施加初始速度，并忽略重力的影响。

将混凝土地面视为固定不动的刚性板，因为它比手机外壳硬得多。

## 9.2.2 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 打开“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 9-12）。

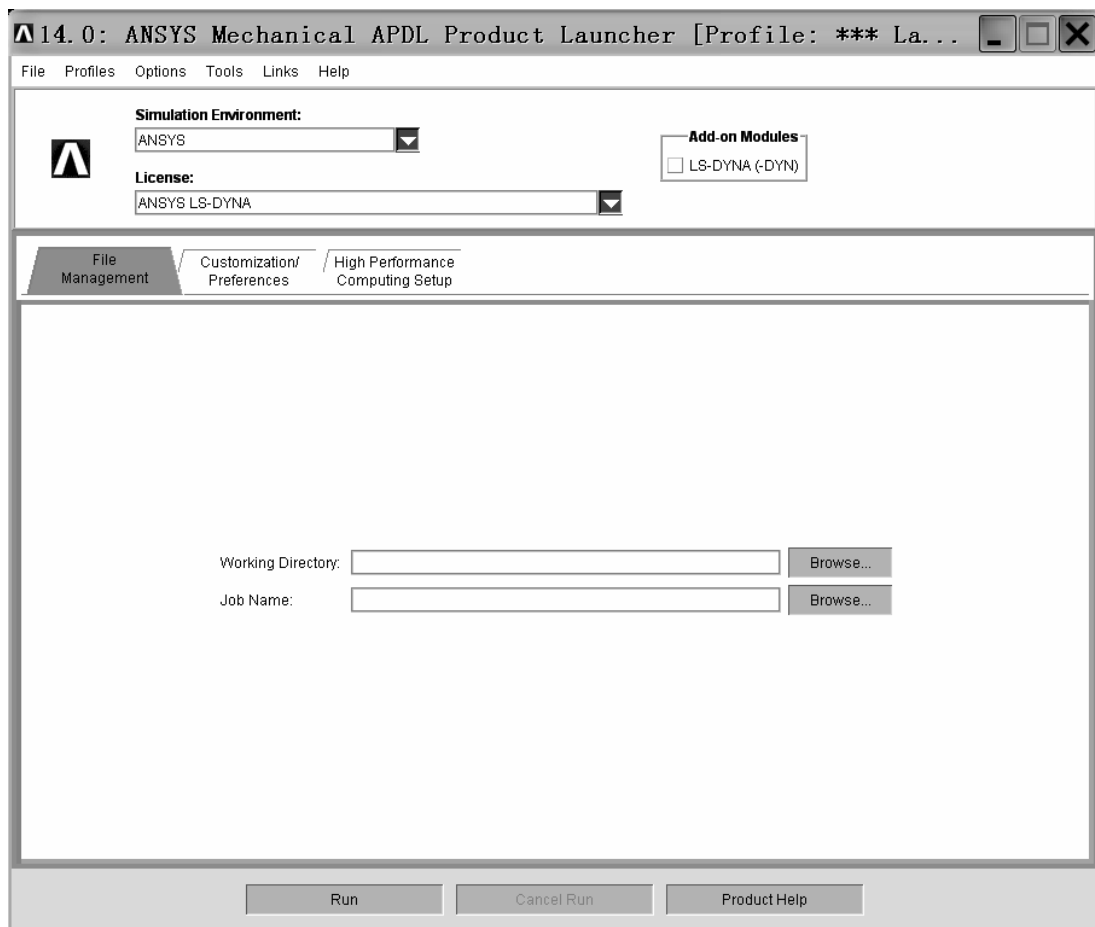


图 9-12 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\Ch9\cell phone drop”。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内输入“cell phone drop”。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮。

### 9.2.3 建立模型

(1) 选择单元类型。将手机上壳、下壳、手机内板、地板（固定的刚性板）的单元都分别选为板壳单元（Thin Shell 163）。

(2) 设定实常数。最好对手机上壳、下壳、手机内板上的各个部分（Part）、地板（固定的刚性板）的单元分别设定为实常数，这样可以便于修改各部分的板壳厚度。

(3) 定义材料。给手机的各部分分别定义材料。地板定义为刚体，且该刚体的所有自由度被约束。

(4) 建立几何模型。先建立手机下壳。如图 9-13 所示，建立 4 个  $90^\circ$  的扇形。

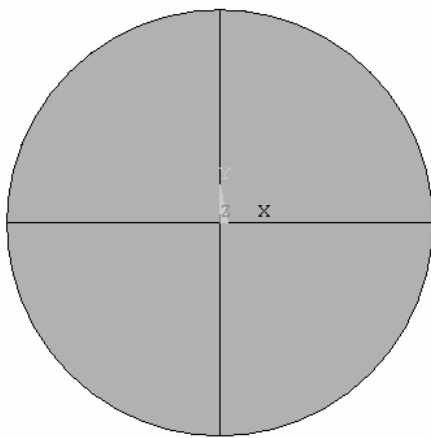


图 9-13 建立 4 个  $90^\circ$  的扇形

(5) 如图 9-14 所示，使用复制命令（Copy），利用扇形的 4 段弧线生成下壳的 4 个拐角。

(6) 如图 9-15 所示，删除 4 个扇形，并连接关键点生成下壳的整个轮廓。

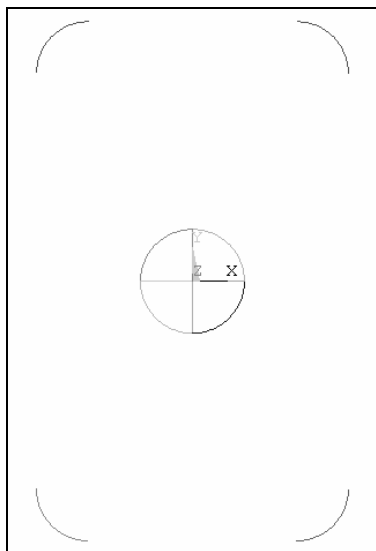


图 9-14 利用扇形的 4 段弧线生成手机下壳的 4 个拐角

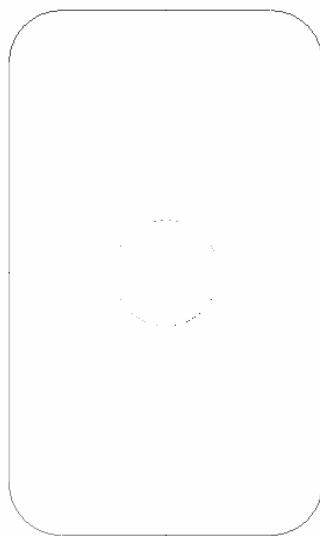


图 9-15 下壳的轮廓

(7) 如图 9-16 所示, 建立两个关键点 (0, 0, 0)、(0, 0, -0.005), 并用这两个点连成一条线。利用拉伸成型命令 (Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Extrude>Lines>Along Lines) 生成下壳的侧面。

(8) 由线段生成下壳的底面, 并按同样的方法生成上壳 (见图 9-17)。

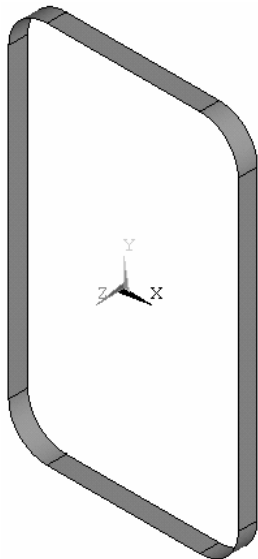


图 9-16 生成下壳的侧面

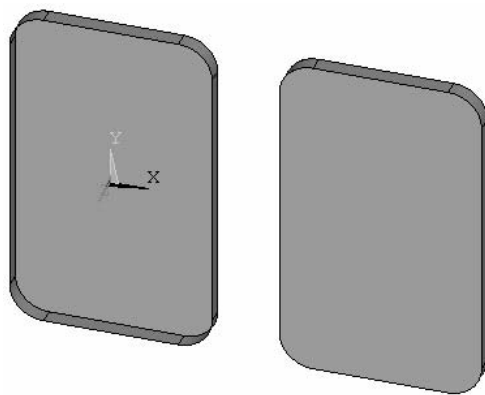


图 9-17 上壳与下壳

(9) 生成手机内板, 注意内板由几块板拼成 (见图 9-18)。

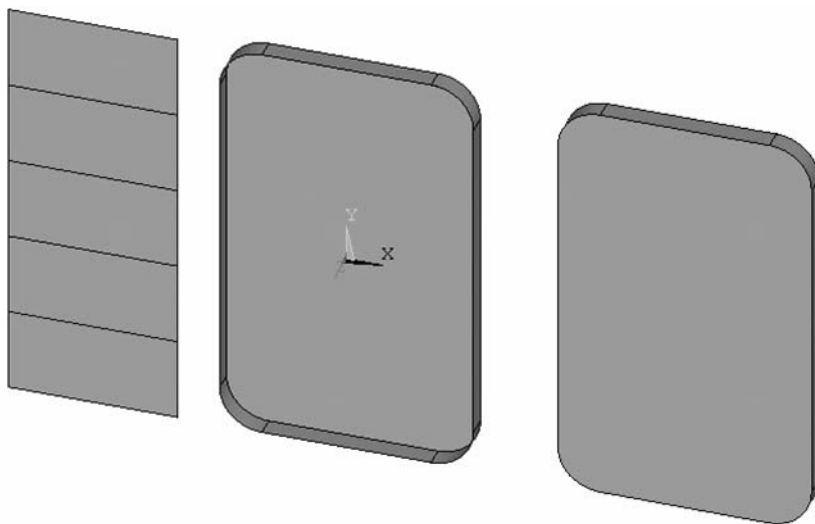


图 9-18 手机上壳、下壳与内板

(10) 用移动命令和胶结命令将内板与下壳黏结在一起, 并建立地板。注意, 为了方便建模, 地板的角度是倾斜的。手机初始速度的方向应当垂直于地面, 这样可以使手机的一个角与地面接触 (见图 9-19)。

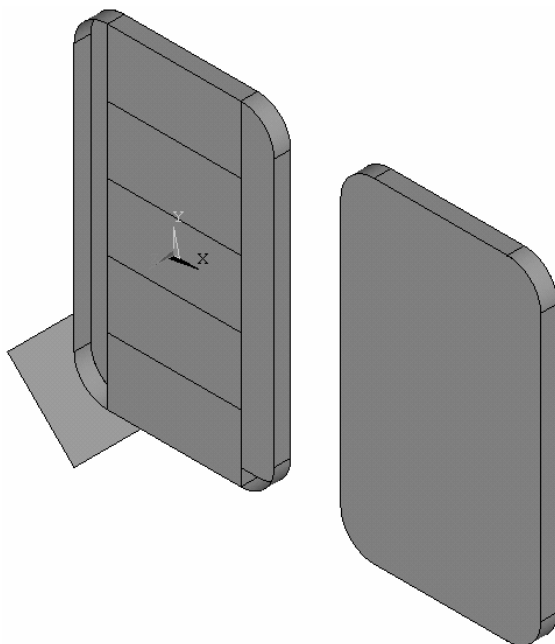


图 9-19 上壳、下壳、内板、地板

## 9.2.4 划分单元

- (1) 先给内板的各部分划分单元 (见图 9-20)。
- (2) 用移动命令将上壳与下壳拼接在一起, 并用胶结命令黏结它们的四个拐角 (见图 9-21)。

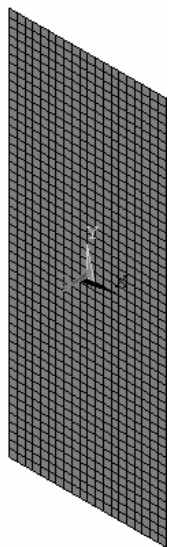


图 9-20 内板的网格划分情况

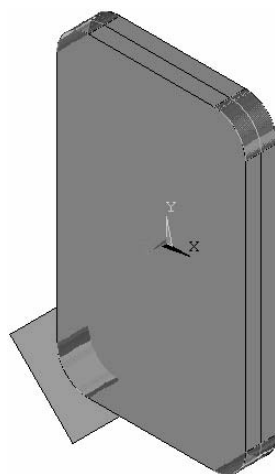


图 9-21 将上壳、下壳黏结在一起

- (3) 然后分别划分下壳、上壳、地板的网格 (见图 9-22)。

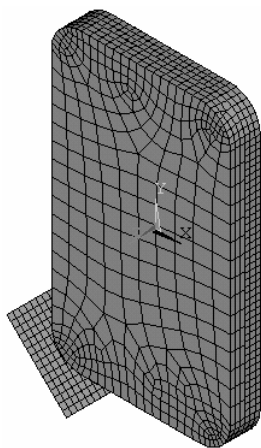


图 9-22 划分网格后的模型

## 9.2.5 工况设置

- (1) 生成 Part。内板的各部分、下壳、上壳、地板各为一个 Part。
- (2) 设置初始速度。手机的所有部分沿 X 方向的初速度为“-4.24”，沿 Y 方向的初速度为“-4.24”。
- (3) 设置接触。设置单面自动接触。

## 9.2.6 求解设置

- (1) 沙漏控制。Main Menu>Solution>Analysis Options>Hourglass Ctrl>Global。
- (2) 设定输出文件类型。Main Menu>Solution>Output Controls>Output File Types。
- (3) 文件保存设置。Main Menu>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps。在弹出窗口的第一个方框中输入“20”，在第二个方框中输入“1000”。
- (4) 保存沙漏能及接触力数据。Main Menu>Solution>Output Controls>ASCII Output。选中“Material energy”和“Resultant forces”。如图 9-23 所示。注意：本例中使用的接触类型为单面自动接触，因此不能得到界面间的接触力数据。这里选择“Resultant forces”是为验证这一点，即在后处理中是不能提取接触力信息的。

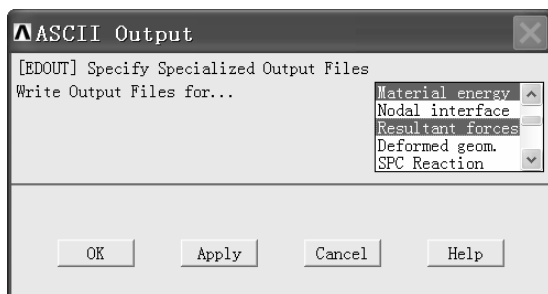


图 9-23 “ASCII Output”窗口

- (5) 设置计算时间为“0.002”。

(6) 输出 k 文件。

## 9.2.7 后处理

(1) k 文件完成计算后在后处理软件中观察仿真动画。

(2) 提取模型中各部分的加速度信息。如图 9-24 所示, 单击“ASCII”, 再选择“(1) matsum\*” (初始的显示为“matsum\*”), 再单击“Load”, 然后选中“7”, 接着选中“15-Resultant Rigid Body Accel.”, 最后单击“Plot”, 弹出 Part7 (上壳) 的加速度信息 (见图 9-25)。

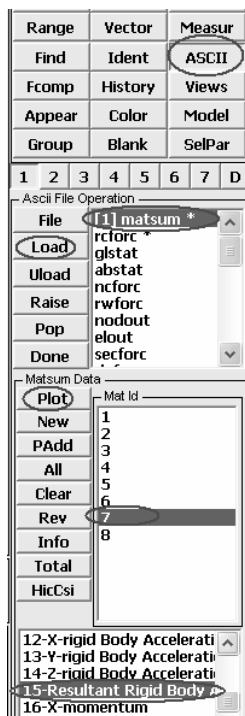


图 9-24 “ASCII”选项

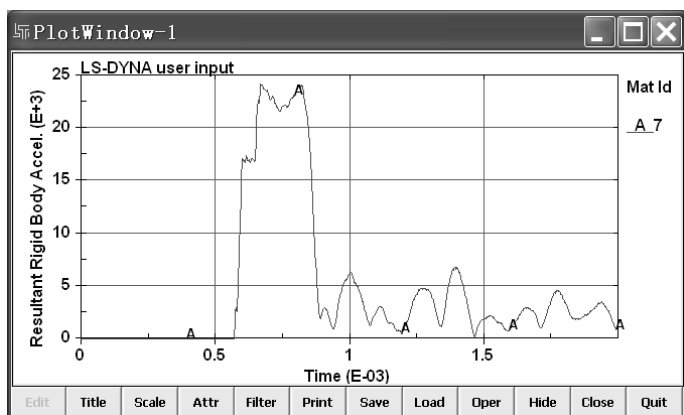
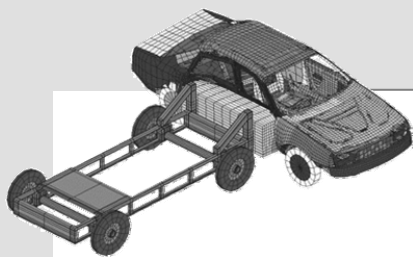


图 9-25 PlotWindow-1, Part7 的加速度随时间的变化

## 9.3 小结

本章结合实例介绍了使用 ANSYS LS-DYNA 进行仿真分析的要点。建模分析之前需要对整个建模过程做总体规划。操作者需要找出模型中的主要因素, 合理地舍去末节, 例如, 忽略重力影响; 操作者还应当结合实际情况对模型做适当的简化, 例如, 有时将模型设为刚体可以给建模带来极大的便利。



## 第 10 章 综合实例 B

本章将给出两个比较复杂的工程实例。对于每个工程实例，作者都给出了详尽的操作说明。通过这些实例的上机练习，读者可以快速地提高软件的操作技能，并能学到许多很实用的建模知识。



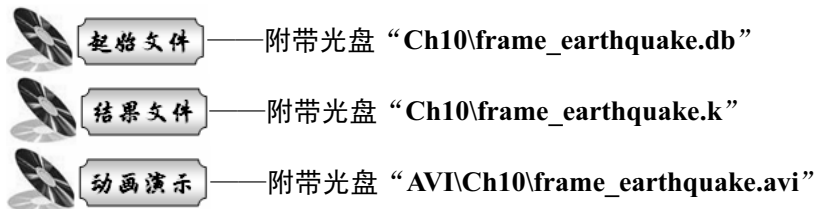
### 本章内容

- 对模拟仿真的综合练习
- 用控制坐标范围的方法选取节点
- 用多个载荷使模型之间产生关联运动



## 10.1 综合实例 1——高层框架结构抗震分析

地震常常给人类造成极大的损害。桥梁、水坝、体育场馆及高楼等的设计必须考虑地震的影响。LS-DYNA 可以方便地对结构物进行抗震分析,进而及时地给设计人员提供设计参考数据。



### 10.1.1 问题描述

如图 10-1 所示,一幢 16 层的钢质框架结构受到地基震动(地震)的作用(楼层基础受到一个沿 X 轴方向的强迫加速度载荷)。框架结构每层高 3m。整个框架结构由 H 型钢和槽钢构成,且型钢的厚度为 0.02m。附带光盘中给出一个起始文件,文件中给出钢质框架结构的几何模型。要求:计算地震作用下,框架结构中不同楼层的位移情况。

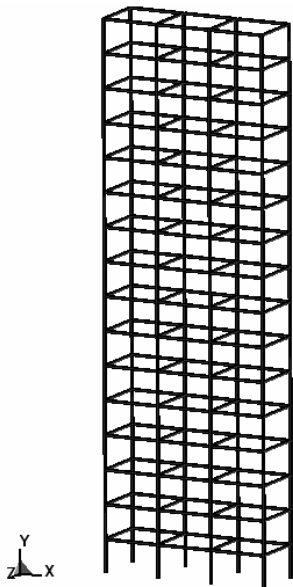


图 10-1 16 层框架结构

问题分析:作为一个例题,这里对楼层做了简化,只给出了房屋的框架。原则上,做地震分析时,需要有特定的地震波数据。在这里,作者将地震波简化成人为给定的地基加速度,并假定地基沿 X 轴方向运动,且地基沿 Y 轴、Z 轴方向的运动是被约束的。

将光盘中“Ch10”目录下的“frame\_earthquake.db”文件复制到计算机“D:\Ch10\frame\_earthquake”目录下。

## 10.1.2 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 10-2）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口（见图 10-3）。

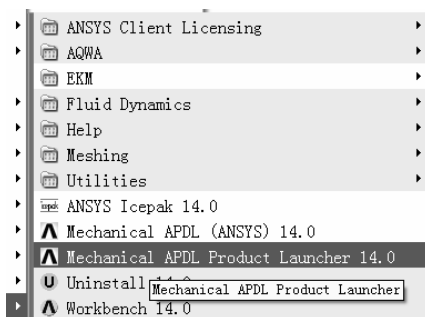


图 10-2 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标

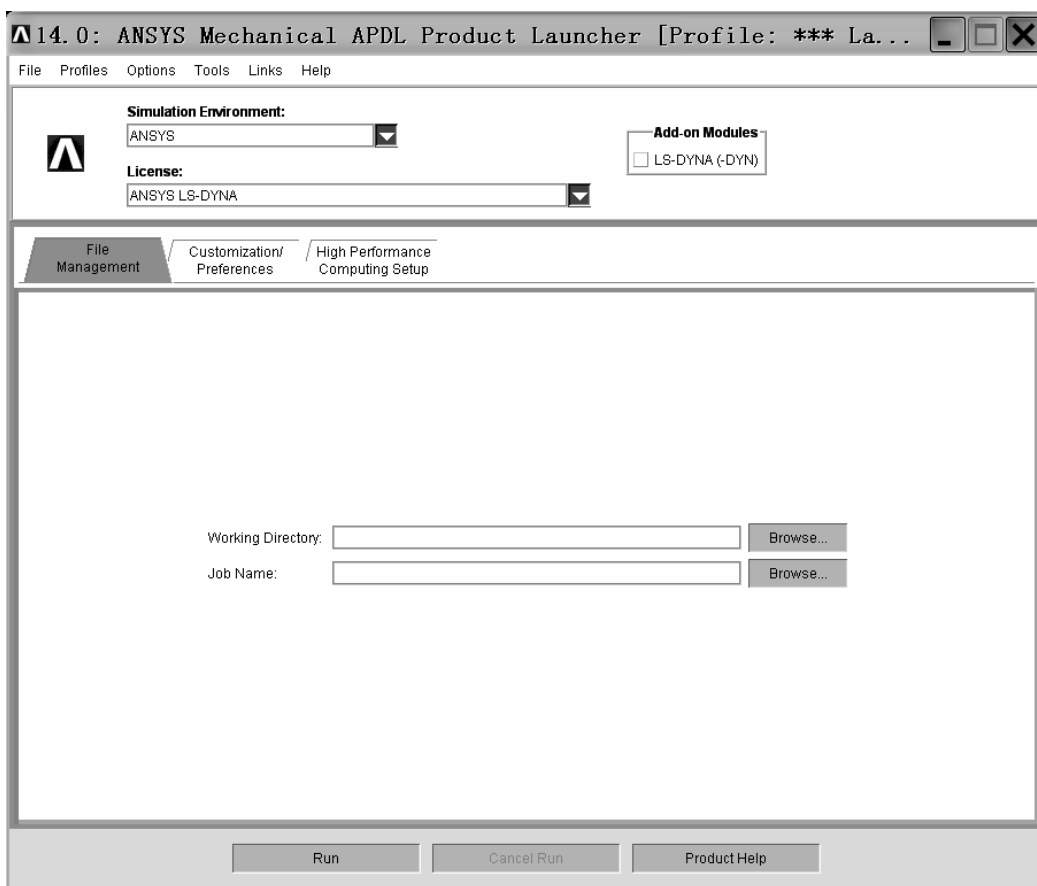


图 10-3 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中

“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标,选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标,选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch10\frame\_earthquake”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch10\frame\_earthquake”目录中的“frame\_earthquake.db”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮,弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-DYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮(见图 10-4),打开“D:\Ch10\frame\_earthquake”目录中的“frame\_earthquake.db”文件。打开该文件后,图形界面中显示出框架结构。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video,将图形窗口的背景变为白色,以便后续操作中更清楚地观看视图(见图 10-5)。

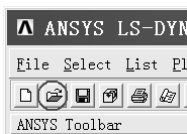


图 10-4 “OPEN ANSYS File”按钮

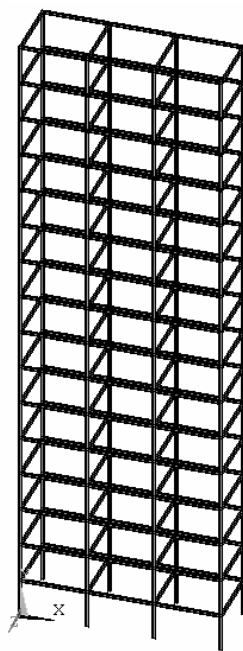


图 10-5 框架结构

### 10.1.3 完善模型

#### 1. 设置单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete,即首先单击 Main 菜单下的“Preprocessor”,再依次单击“Element Type”→“Add/Edit/Delete”(见图 10-6),弹出“Element Types”窗口(见图 10-7)。

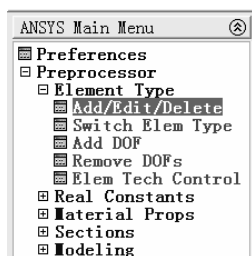


图 10-6 Main 菜单展开

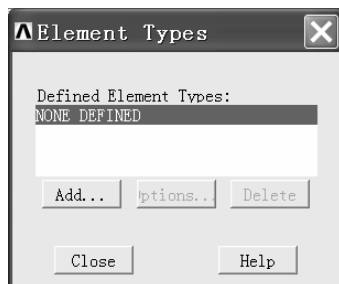


图 10-7 “Element Types” 窗口

(2) 单击“Element Types”窗口中的“Add...”按钮，弹出“Library of Element Types”窗口（见图 10-8）。

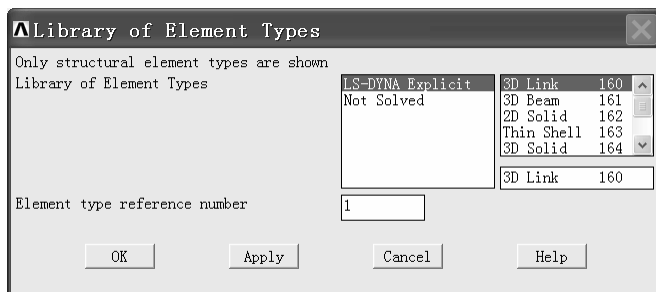


图 10-8 “Library of Element Types” 窗口

(3) 在“Library of Element Types”窗口左边方框中用鼠标单击选中“LS-DYNA Explicit”（选中后背景为蓝色），在右边方框中用鼠标单击选中“Thin Shell 163”。

(4) 单击“Library of Element Types”窗口中的“OK”按钮。这时“Element Types”窗口中显示已经选好了的单元（见图 10-9）。

(5) 单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

## 2. 定义材料

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，出现“Define Material Model Behavior”窗口（见图 10-10）。

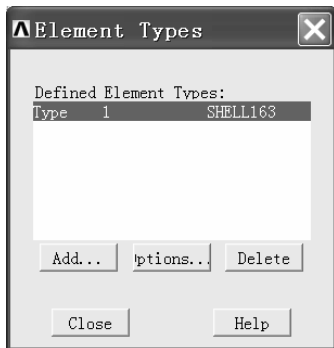


图 10-9 “Element Types” 窗口

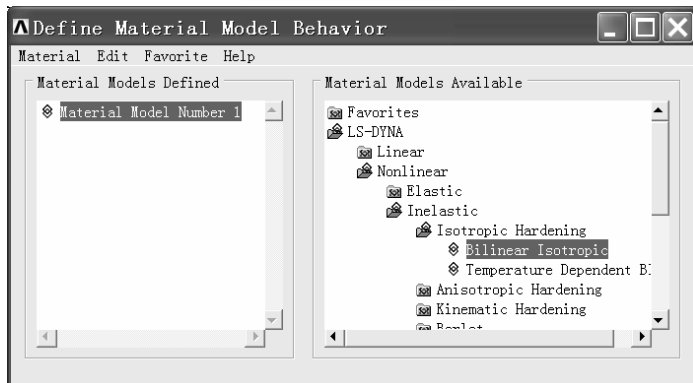


图 10-10 “Define Material Model Behavior” 窗口

(2) 单击 (如果是 ANSYS10.0 版本, 这里就需要双击) “Define Material Model Behavior” 窗口中右边方框中的 “LS-DYNA” 文件夹, 继续单击 “Nonlinear” 文件夹, 再单击 “Inelastic” 文件夹, 再单击 “Isotropic Hardening”, 最后单击 “Bilinear Isotropic”, 出现 “Bilinear Isotropic Properties for ...” 窗口 (见图 10-11)。

(3) 在 “Bilinear Isotropic Properties for ...” 窗口中的 “DENS” 方框处写入 “7850”, “EX” 方框处写入 “2.1e11”, “NUXY” 方框处写入 “0.3”, “Yield Stress” 方框处写入 “2e8”, “Tangent Modulus” 方框处写入 “2e9”。以上输入表示材料密度为  $7850\text{kg/m}^3$ , 杨氏模量为  $2.1 \times 10^{11}\text{Pa}$  (注意 2.1e11 表示  $2.1 \times 10^{11}$ ), 泊松比为 0.3, 屈服应力为  $2 \times 10^8\text{Pa}$ , 切线模量为  $2 \times 10^9\text{Pa}$ 。

(4) 单击 “Bilinear Isotropic Properties for ...” 窗口中的 “OK” 按钮。

(5) 单击 “Define Material Model Behavior” 窗口右上角的叉号关闭该窗口。

### 3. 胶结几何模型

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas, 出现 “Glue Areas” 窗口 (见图 10-12)。

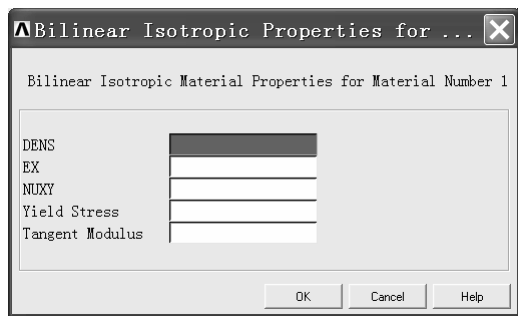


图 10-11 “Bilinear Isotropic Properties for ...” 窗口

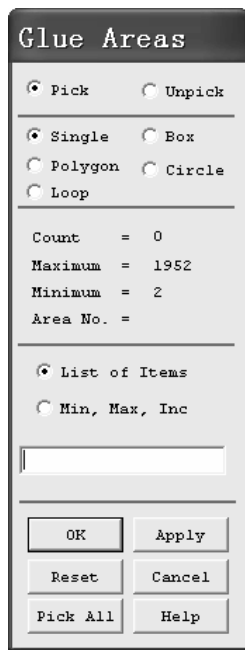


图 10-12 “Glue Areas” 窗口

(2) 单击 “Glue Areas” 窗口上的 “Pick All” 按钮, 将所有的型钢组件 “焊接在一起”。注意: 因为模型比较大, 这个过程会耗时几十秒。耐心等待! 同时, 注意观察型钢连接处的处理技巧。

(3) 单击操作界面左上角工具条中的 “SAVE\_DB” 按钮 (见图 10-13), 保存文件。如果看不到 “SAVE\_DB” 按钮, 可以先单击一下 “ANSYS Toolbar”。

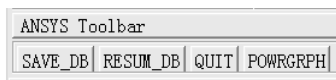


图 10-13 工具条

#### 4. 设置实常数

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants, 弹出“Real Constants”窗口(见图 10-14)。单击“Add...”按钮, 弹出“Element Type f...”窗口(见图 10-15)。用鼠标左键单击“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 1 SHELL163”, 然后单击“OK”按钮, 弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口(见图 10-16), 然后单击“OK”按钮。弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口(见图 10-17)。



图 10-14 “Real Constant”窗口

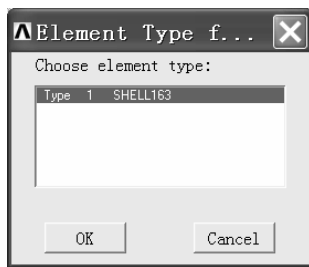


图 10-15 “Element Type f...”窗口

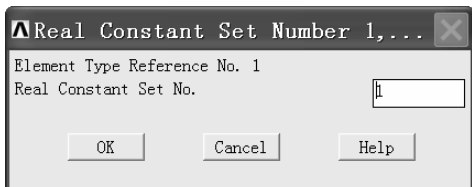


图 10-16 “Real Constant Set Number 1, ...”窗口

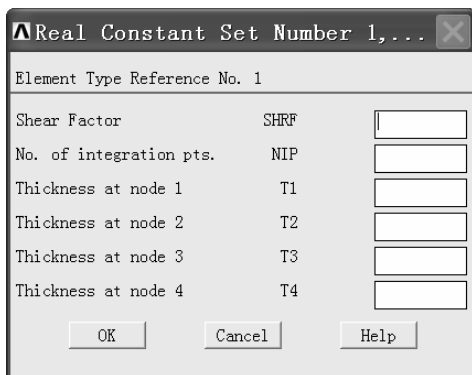


图 10-17 另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口

(2) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“No. of integration pts. NIP”后的方框中输入“5”, 在“Thickness at node 1 T1”后的方框中输入“0.02”, 然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。

(3) 单击“Real Constants”窗口中的“Close”按钮关闭该窗口。

### 10.1.4 划分单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口。

(2) 单击“Mesh Tool”窗口中“Lines”后的“Set”按钮, 弹出“Elem Si...”窗口(见图 10-18)。单击“Pick All”按钮, 弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口(见图 10-19), 在该窗口“SIZE Element edge length”后的输入框中输入“0.05”, 然后单击“OK”按钮。

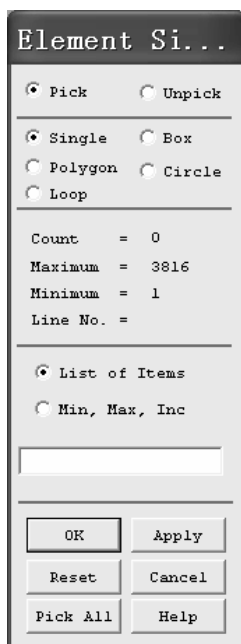


图 10-18 “Element Si...” 窗口

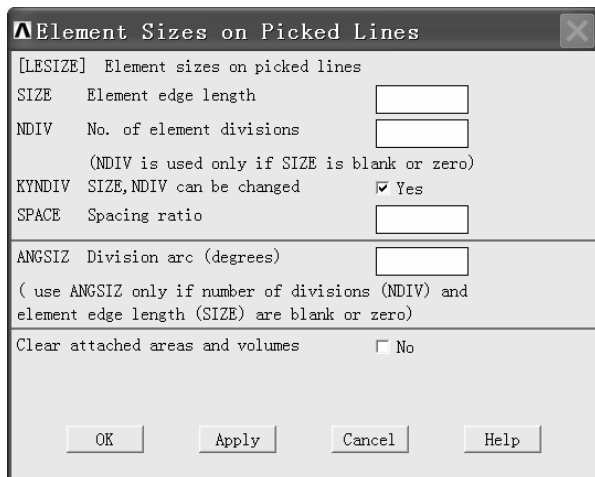


图 10-19 “Element Sizes on Picked Lines” 窗口

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool，弹出“MeshTool”窗口，单击“Mesh”按钮，弹出“Mesh Areas”窗口（见图 10-20），然后单击“Pick All”按钮，单元划分完成（见图 10-21）。这个过程需要好几分钟。耐心等待！

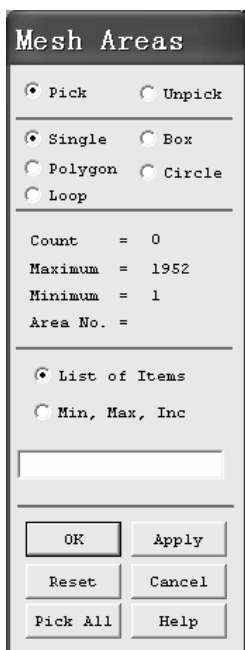


图 10-20 “Mesh Areas” 窗口

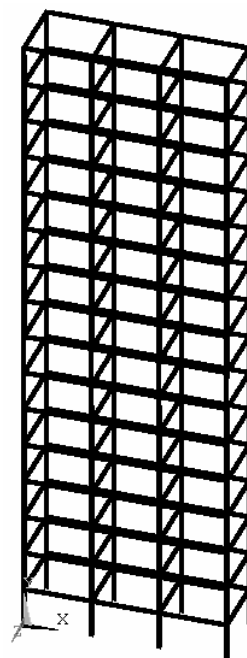


图 10-21 模型完成网格划分

## 10.1.5 工况设置

### 1. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 10-22)。

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变, 单击该窗口中的“OK”按钮, 弹出“EDPART Command”窗口(见图 10-23)。注意: 这个模型用的单元个数为 276480。

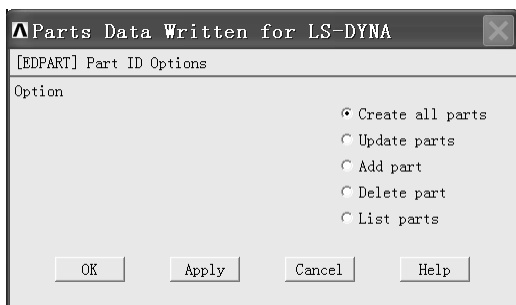


图 10-22 “Parts Data Written for LS-DYNA”窗口

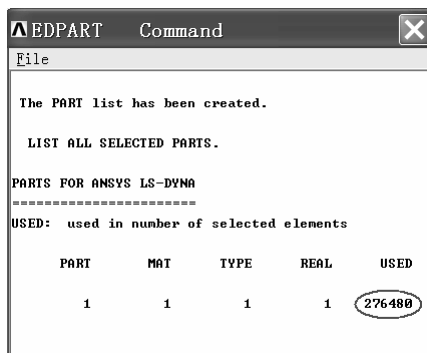


图 10-23 “EDPART Command”窗口

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

### 2. 生成 Component

此处建立 Component 有两个用处: 第一, 将模型中的所有节点取出, 建立第一个 component (不妨取名为“total”), 用于对所有节点施加重力载荷; 第二, 取出框架结构最低层的节点, 建立第二个 component (不妨取名为“base”), 用于对地基施加强迫载荷。

(1) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities..., 弹出“Selec...”窗口(见图 10-24)。在该窗口的第一个方框中选择“Nodes”, 在第二个方框中选择“By Num/Pick”, 然后单击“OK”按钮, 弹出“Select nodes”窗口(见图 10-25), 单击“Pick All”按钮, 选中所有节点。

(2) Utility Menu>Comp/Assembly>Create Component..., 弹出“Create Component”窗口(见图 10-26)。在“Component name”后的方框中输入“total”, 在“Entity Component is made of”后的方框中选择“Nodes”, 然后单击“OK”按钮。

(3) 依次选择 Utility Menu>Select>Everything, 这一步非常重要, 别忘了。

(4) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities..., 弹出“Selec...”窗口(见图 10-27)。在该窗口的第一个方框中选择“Nodes”, 在第二个方框中选择“By Location”, 选中“Y coordinates”, 在“Min, Max”下的方框中输入“-1, 0.01”再选中“From Full”前的单选框, 然后单击“OK”按钮。

注: 上面这一步的意思为选出 Y 轴坐标值大于“-1”且小于“0.01”的所有节点。其实, 地基(框架的底部)的 Y 坐标值为“0”。因为前面设定的单元的边长为“0.05”, 故这里可以将 Y 轴的上限设为“0.01”, 这样能够保证只选中了地基最下面一层的节点。



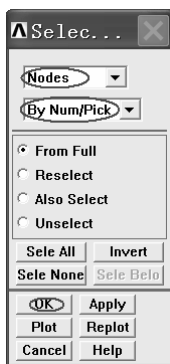


图 10-24 “Selec...” 窗口

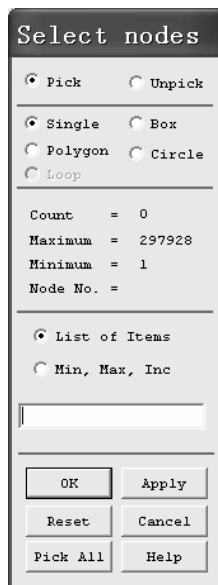


图 10-25 “Select Nodes” 窗口

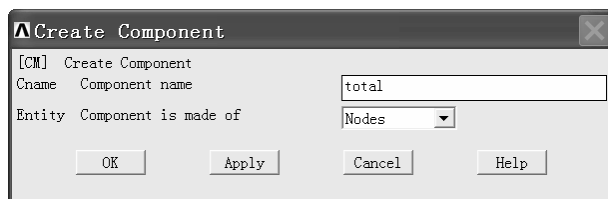


图 10-26 “Create Component” 窗口

(5) 依次选择 Utility Menu>Comp/Assembly>Create Component..., 弹出“Create Component”窗口(见图 10-28)。在“Component name”后的方框中输入“base”, 在“Entity Component is made of”后的方框中选择“Nodes”, 然后单击“OK”按钮。

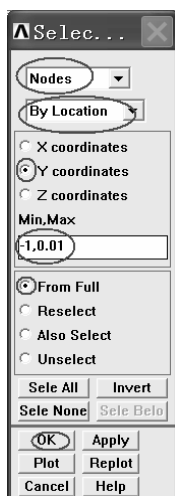


图 10-27 “Selec...” 窗口

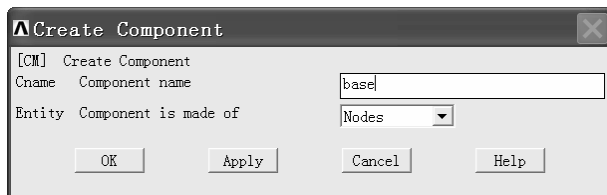


图 10-28 “Create Component” 窗口

(6) 依次选择 Utility Menu>Select>Everything。

### 3. 建立载荷数组

建立载荷数组有三个作用：第一，设定重力载荷；第二，设定地震（强迫加速度）载荷；第三，限制地基沿 Z 轴及 Y 轴方向的运动。

(1) 依次选择 Utility Menu>Parameters>Array Parameters>Define/Edit ...，弹出“Array Parameters”窗口（见图 10-29）。

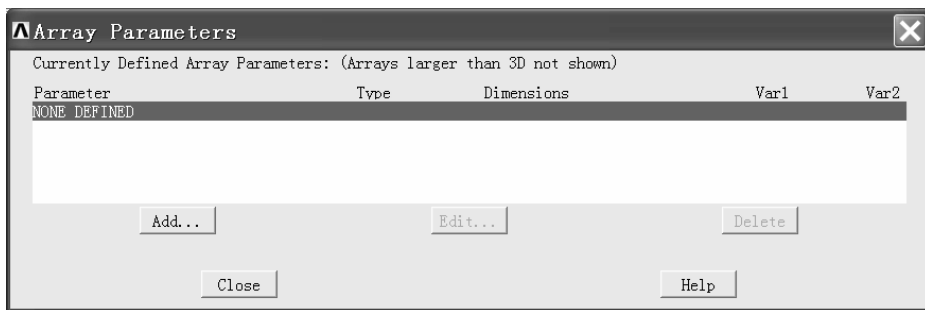


图 10-29 “Array Parameters”窗口

(2) 单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮，弹出“Add New Array Parameter”窗口（见图 10-30）。在“Parameter name”后的方框中输入“TIME”，即给数组取个名字，然后单击“Apply”按钮。

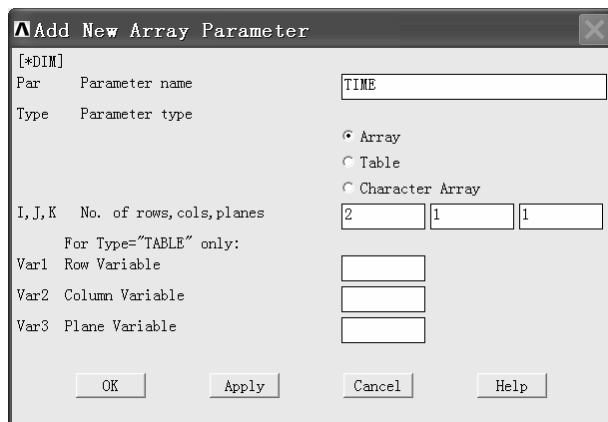


图 10-30 “Add New Array Parameter”窗口

(3) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“G”，然后单击“Apply”按钮。

(4) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“YDIS”，然后单击“Apply”按钮。

(5) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“ZDIS”，然后单击“Apply”按钮。

(6) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“TIMEX”，在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“5”，然后单击“Apply”按钮。

(7) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“ACX”，在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“5”，然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口（见图 10-31）。



Array Parameters

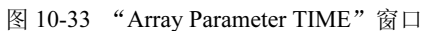
Currently Defined Array Parameters: (Arrays larger than 3D not shown)

| Parameter | Type  | Dimensions | Var1 | Var2 |
|-----------|-------|------------|------|------|
| ACX       | array | 5 x 1      |      |      |
| G         | array | 2 x 1      |      |      |
| TIME      | array | 2 x 1      |      |      |
| TIMEX     | array | 5 x 1      |      |      |
| YDIS      | array | 2 x 1      |      |      |
| ZDIS      | array | 2 x 1      |      |      |

Add... Edit... Delete

Close Help

图 10-32 “Array Parameters” 窗口



(9) 如图 10-33 所示, 在 “Array Parameter TIME” 窗口左下方的两个方框中依次填入 “0”、“1”。

(10) 单击 “Array Parameter TIME” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 再单击下拉菜单中出现的 “Apply”。再次单击 “Array Parameter TIME” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 接着单击下拉菜单中出现的 “Quit” 返回到 “Array Parameters” 窗口。

(11) 用鼠标左键单击 “Array Parameters” 窗口中的 “G”, 然后单击 “Edit...” 按钮, 弹出 “Array Parameter G” 窗口。

(12) 在 “Array Parameter G” 窗口左下方的两个方框中依次填入 “9.8”、“9.8”。注意: 这里填写的确实为 “正” 的 “9.8”, 它表示重力加速度沿 Y 轴的负方向。

(13) 单击 “Array Parameter G” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 再单击下拉菜单中出现的 “Apply”。再次单击 “Array Parameter G” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 接着单击下拉菜单中出现的 “Quit” 返回到 “Array Parameters” 窗口。

(14) 用鼠标左键单击 “Array Parameters” 窗口中的 “YDIS”, 然后单击 “Edit...” 按钮, 弹出 “Array Parameter YDIS” 窗口。

(15) 单击 “Array Parameter YDIS” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 再单击下拉菜单中出现的 “Apply”。再次单击 “Array Parameter YDIS” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 接着单击下拉菜单中出现的 “Quit” 返回到 “Array Parameters” 窗口。

(16) 用鼠标左键单击 “Array Parameters” 窗口中的 “ZDIS”, 然后单击 “Edit...” 按钮, 弹出 “Array Parameter ZDIS” 窗口。

(17) 单击 “Array Parameter ZDIS” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 再单击下拉菜单中出现的 “Apply”。再次单击 “Array Parameter ZDIS” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 接着单击下拉菜单中出现的 “Quit” 返回到 “Array Parameters” 窗口。

(18) 用鼠标左键单击 “Array Parameters” 窗口中的 “TIMEX”, 然后单击 “Edit...” 按钮, 弹出 “Array Parameter TIMEX” 窗口。

(19) 在 “Array Parameter TIMEX” 窗口左下方的五个方框中依次填入 “0”、“0.05”、“0.1”、“0.15” “0.2”。

(20) 单击 “Array Parameter TIMEX” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 再单击下拉菜单中出现的 “Apply”。再次单击 “Array Parameter TIMEX” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 接着单击下拉菜单中出现的 “Quit” 返回到 “Array Parameters” 窗口。

(21) 用鼠标左键单击选中 “Array Parameters” 窗口中的 “ACX”, 然后单击 “Edit...” 按钮, 弹出 “Array Parameter ACX” 窗口。在 “Array Parameter ACX” 窗口左下方的五个方框中依次填入 “-0.5”、“0.5”、“-0.5”、“0.5”、“-0.5”。

(22) 单击 “Array Parameter ACX” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 再单击下拉菜单中出现的 “Apply”。再次单击 “Array Parameter ACX” 窗口左上角的 “File” 下拉菜单, 接着单击下拉菜单中出现的 “Quit” 返回到 “Array Parameters” 窗口。

(23) 单击 “Array Parameters” 窗口中的 “Close” 按钮, 关闭该窗口。

#### 4. 施加载荷

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Loading Options>Specify Loads, 弹出 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口 (见图 10-34)。

(2) 在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口中“Load Labels”后的方框中选择“UY”，在“Component name or PART number:”后选择“BASE”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”，在“Parameter name for data values:”后选择“YDIS”，然后单击“APPLY”按钮。图形界面上显示出对框架底部沿 Y 方向的位移约束（见图 10-35。注意：这里是使用施加载荷的方式来代替约束的）。

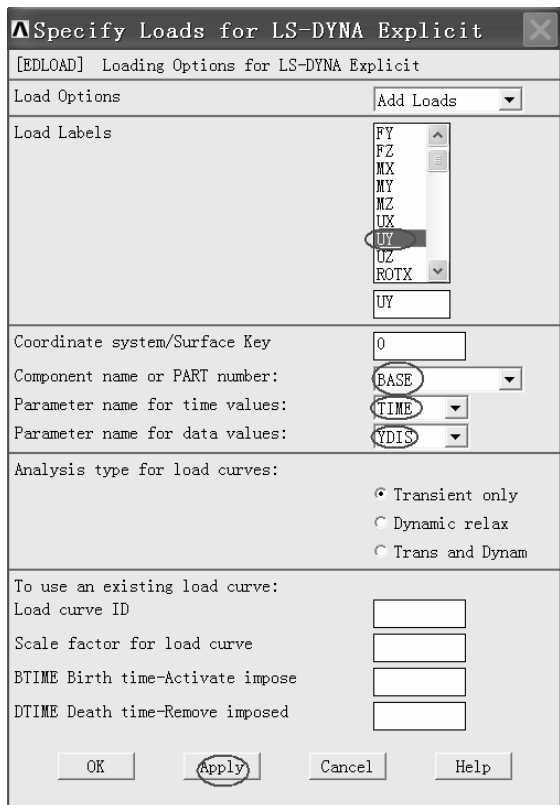


图 10-34 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口

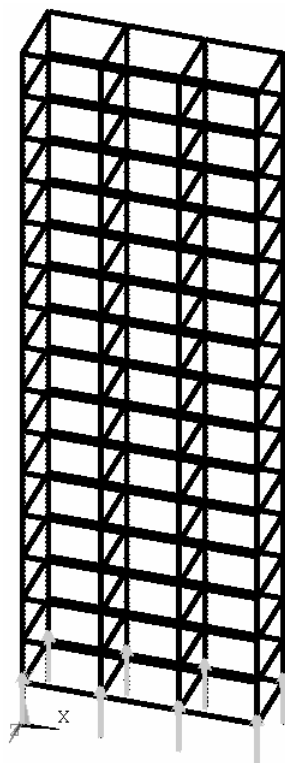


图 10-35 对地基的载荷

(3) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口中“Load Labels”后的方框中选择“UZ”，在“Component name or PART number:”后选择“BASE”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”，在“Parameter name for data values:”后选择“ZDIS”，然后单击“APPLY”按钮。图形界面上显示出对框架底部沿 Z 方向的位移约束（见图 10-36）。

(4) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口中“Load Labels”后的方框中选择“AX”，在“Component name or PART number:”后选择“BASE”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIMEX”，在“Parameter name for data values:”后选择“ACX”，然后单击“APPLY”按钮。图形界面上显示出对框架底部沿 X 方向的加速度载荷（见图 10-37）。

(5) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口中“Load Labels”后的方框中选择“ACLY”，在“Component name or PART number:”后选择“TOTOL”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”，在“Parameter name for data values:”后选择“G”，然后单击“OK”按钮对框架施加重力载荷。

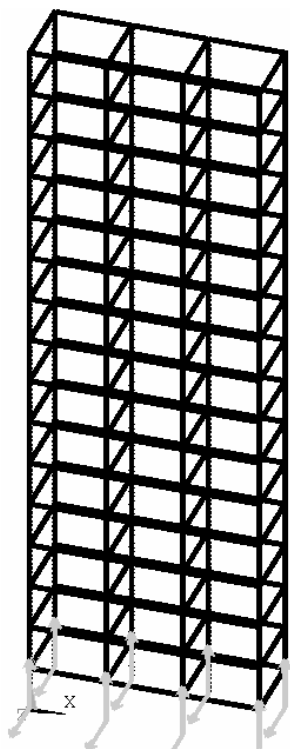


图 10-36 对地基的载荷

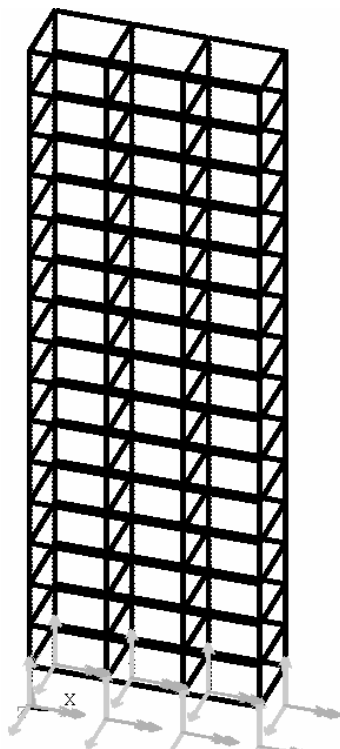


图 10-37 对地基的载荷

## 10.1.6 求解设置

### 1. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time, 弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口(见图 10-38)。

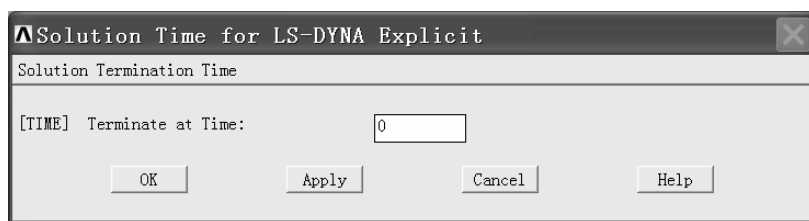


图 10-38 “Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.2”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types, 弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口(见图 10-39)。

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”。在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

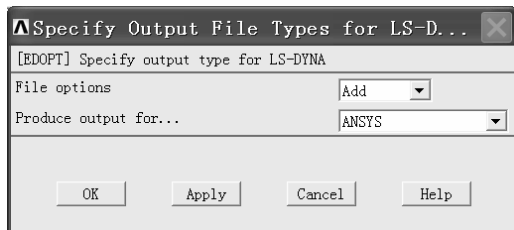


图 10-39 “Specify Output File Types for LS-D...” 窗口

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps, 弹出“Specify File Output Frequency”窗口(见图 10-40)。

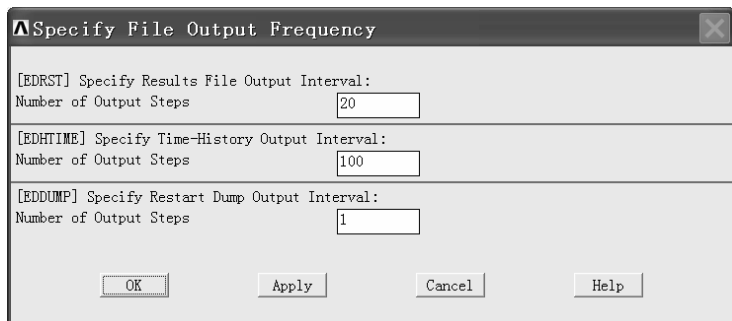


图 10-40 “Specify File Output Frequency” 窗口

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后的方框中输入“20”, 在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“100”, 然后单击该窗口中的“OK”按钮。

## 2. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口(见图 10-41)。

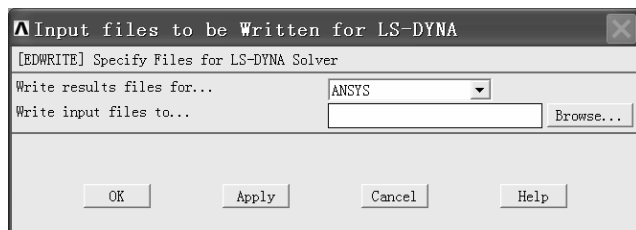


图 10-41 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(2) 在“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口中“Write results files for...”后的方框中选择“LS-DYNA”(单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击“Write input files to...”后的“Browse...”按钮, 弹出“Write input files to...”窗口(见图 10-42)。

(3) 在“Write input files to...”窗口中“文件名(N):”后的方框中输入“frame\_earthquake.k”, 然后单击“保存”按钮返回到“Input files to be Written for LS-DYNA”窗口(见图 10-43)。

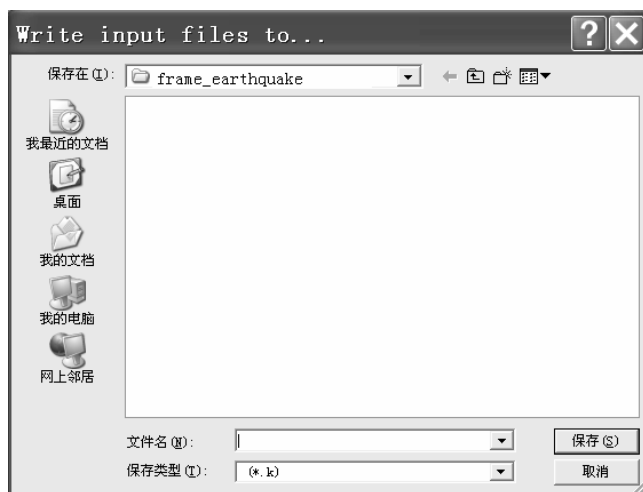


图 10-42 “Write input files to...” 窗口

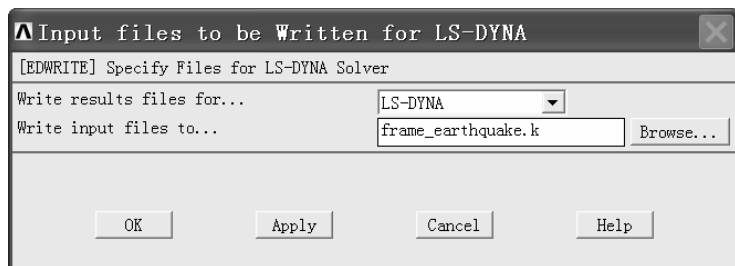


图 10-43 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中的 “OK” 按钮，弹出 “EDWRITE Command” 窗口（见图 10-44）。

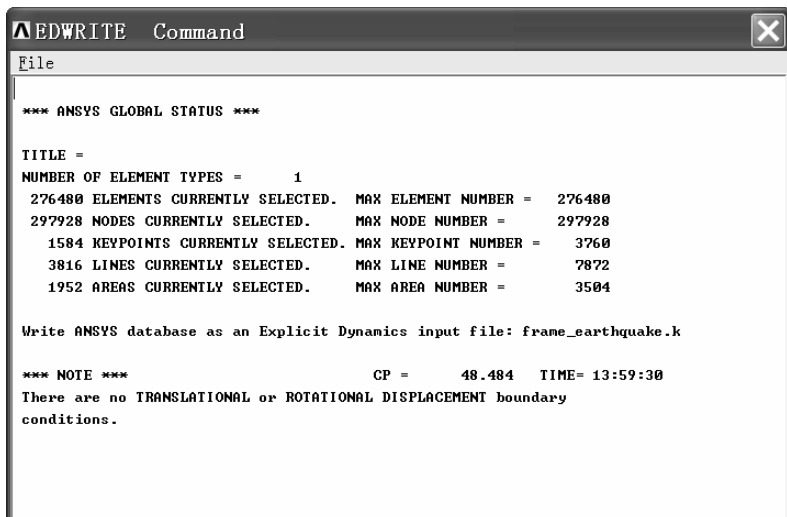


图 10-44 “EDWRITE Command” 窗口



(5) 单击“EDWRITE Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出“Exit from ANSYS”窗口（见图 10-45）。

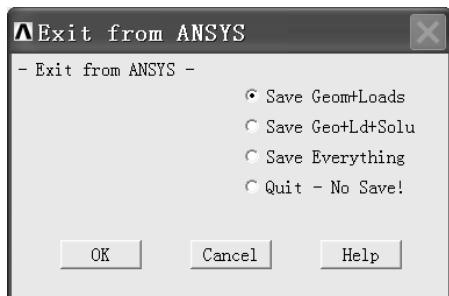


图 10-45 “Exit from ANSYS”窗口

(7) 单击“Exit from ANSYS”窗口中“Save Everything”前面的单选框，再单击该窗口中的“OK”按钮。

### 3. 求解

(1) 打开“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口（见图 10-46）。其实该窗口前面已经打开，只需单击桌面下方任务栏中该窗口的最小化图标使该窗口显示出来即可。如果前面已将该窗口关闭，可以用“开始”菜单中的“ANSYS 14.0”文件夹下的“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标打开（单击此图标）。

(2) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标，选中“LS-DYNA Solver”。

(3) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标，选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 选中“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Analysis Type”下的“Typical LS-DYNA Analysis”按钮。

(5) 在“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\frame\_earthquake”。

(6) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中“Keyword Input File”方框后的“Browse...”按钮，弹出“Select Keyword Input File”窗口（见图 10-47）。

(7) 在“Select Keyword Input File”窗口中找到“d:\frame\_earthquake”目录下的“frame\_earthquake.k”文件，用鼠标单击该文件后，单击“打开”按钮。

(8) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Customization/Preferences”。如图 10-48 所示，在“Memory(words):”后填入“300 000 000”，然后单击“OK”按钮。注意：因为本例题的计算模型特别大，需要分配较大的计算内存。

(9) 屏幕弹出显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口（见图 10-49）。该窗口的倒数第一行显示了本例题中模型实际需要的计算内存量，即“13 726 492”（words）。

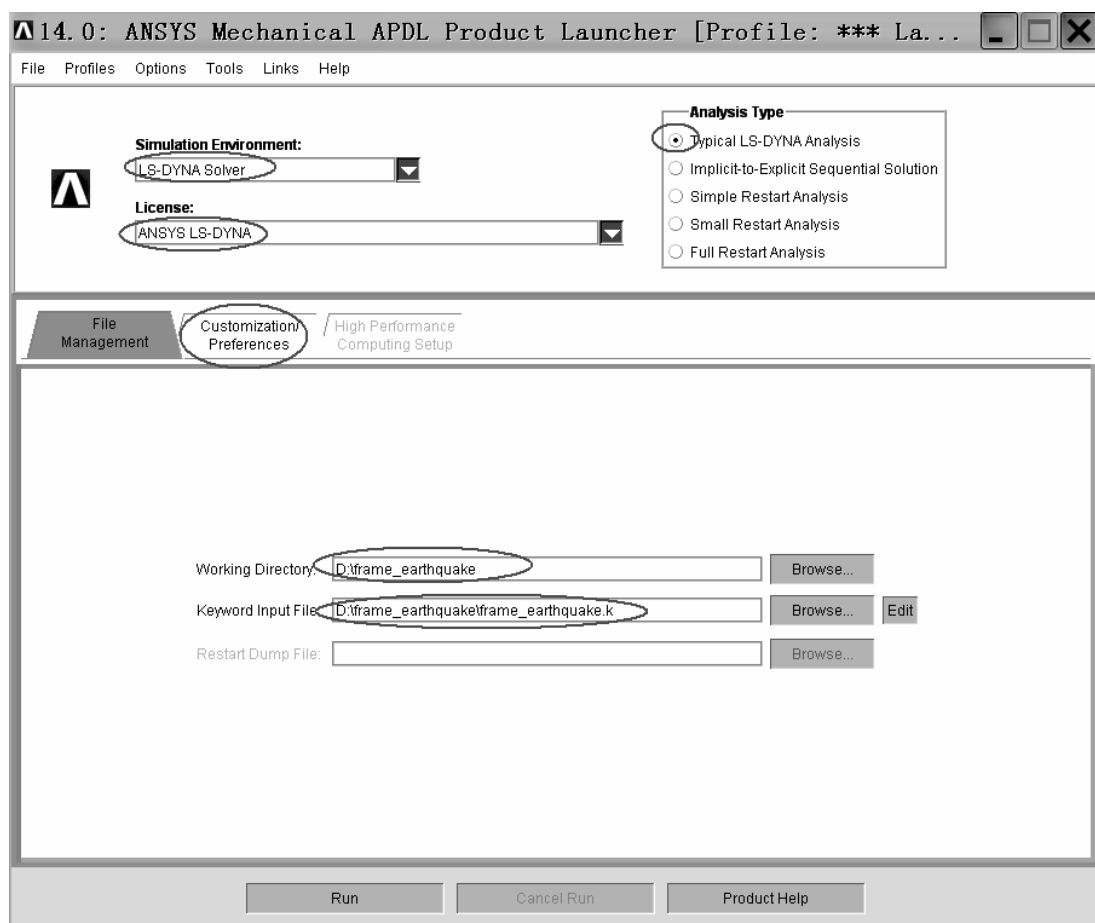


图 10-46 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口

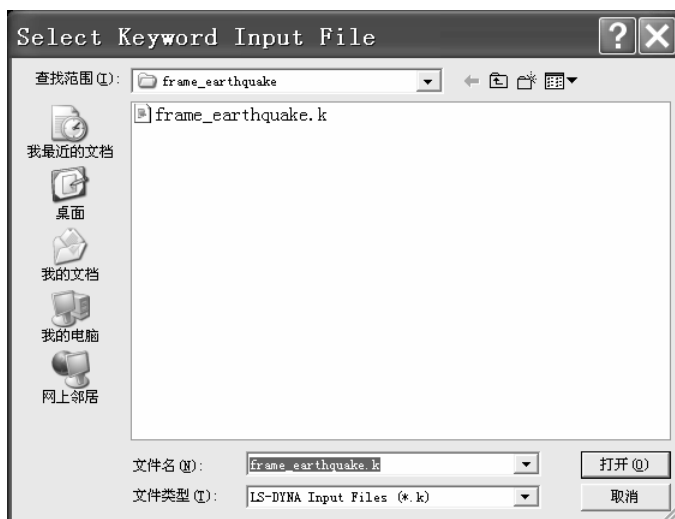


图 10-47 “Select Keyword Input File” 窗口

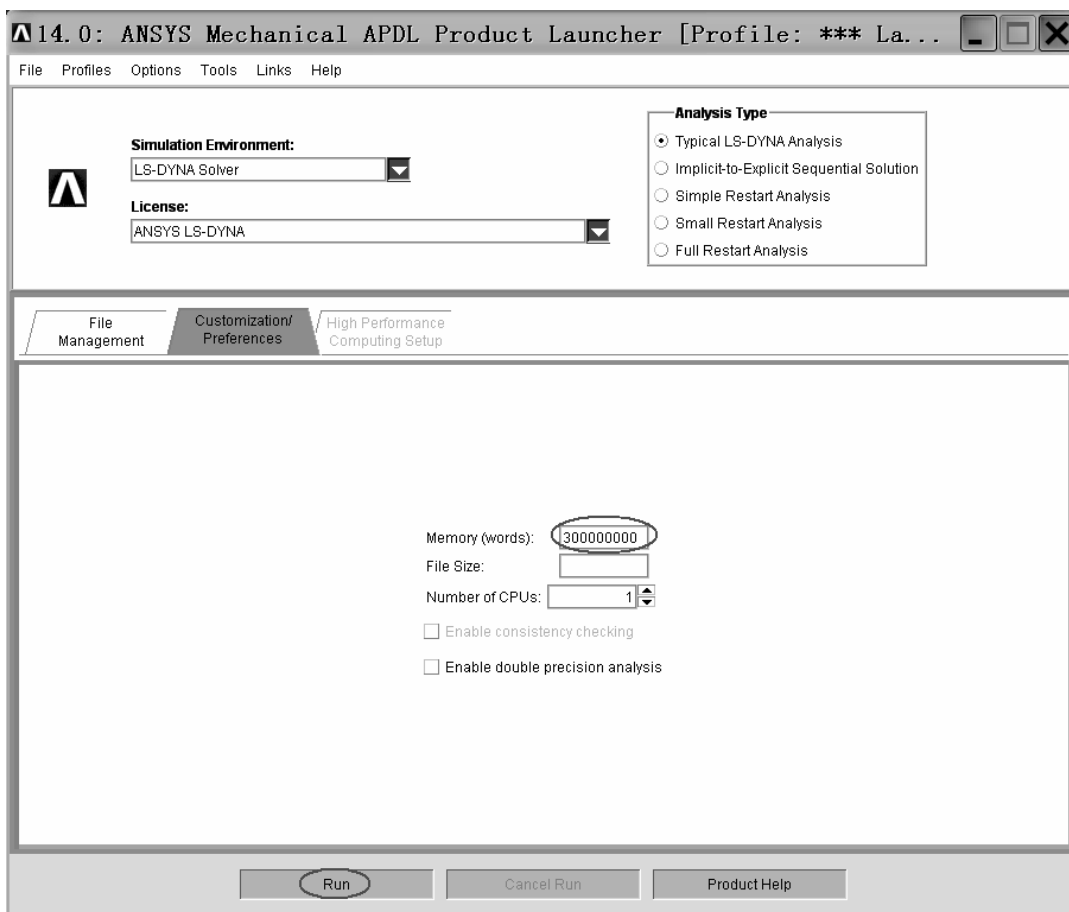


图 10-48 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口

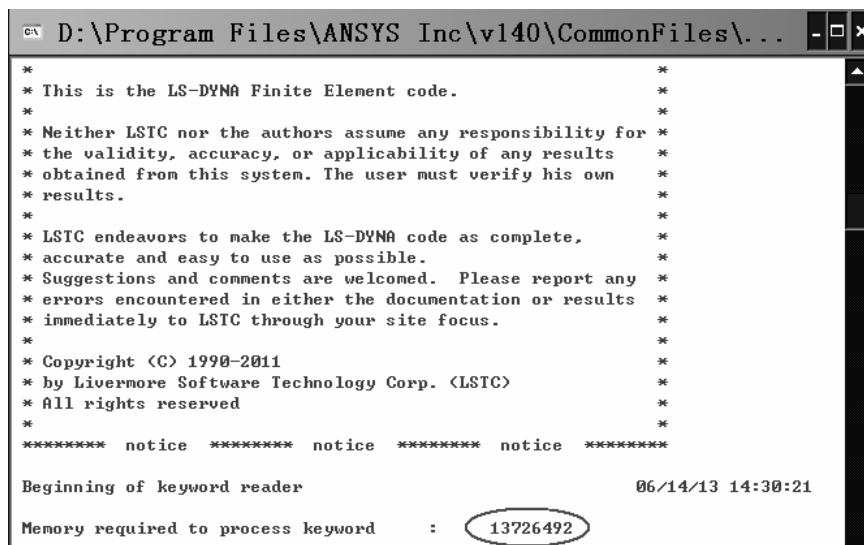


图 10-49 显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口

## 10.1.7 后处理

待计算完成后（只完成了部分计算也可以）用 LS-PREPOST 打开计算结果。

（1）用鼠标左键双击 LS-PREPOST 软件的启动图标（见图 10-50），打开操作界面。



图 10-50 LS-PREPOST 启动图标

（2）用鼠标左键单击操作界面左上角处的“File”，再单击“Open”，然后单击“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”，最后找出“D:\Ch10\frame\_earthquake”目录下的“d3plot”文件。打开该文件后，图形窗口出现几何模型（见图 10-51）。

（3）如图 10-52 所示，单击操作界面右侧的“History”，然后选中“Nodal”前面的单选框，再选中“X-displacement”，然后用鼠标左键在框架结构的顶部附近单击一下（即选中一个节点，如果所选的节点不令人满意，可单击“Clear”按钮清除选中的节点，然后再选择其他节点）。单击“Plot”按钮，弹出“PlotWindow-1”窗口（见图 10-53）。

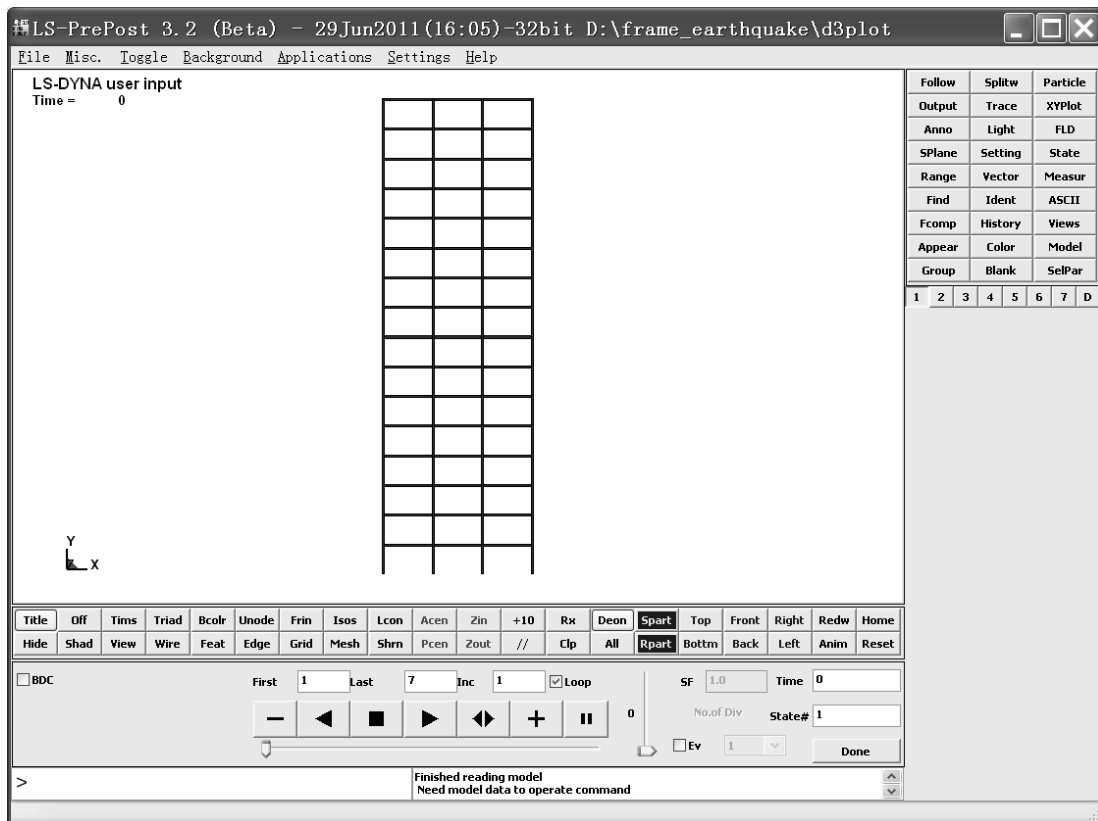


图 10-51 框架结构

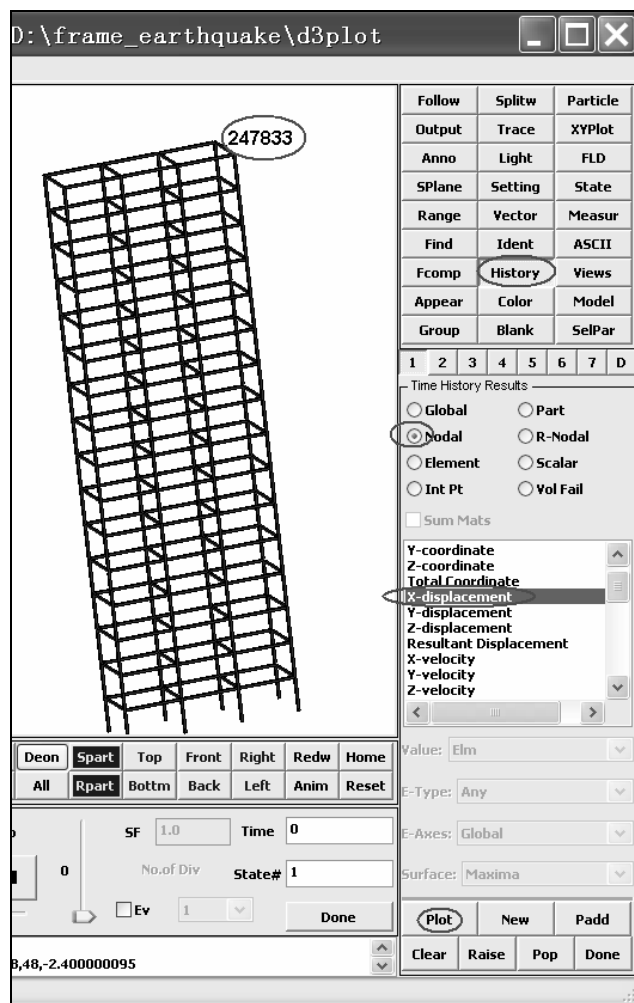


图 10-52 选出一个节点

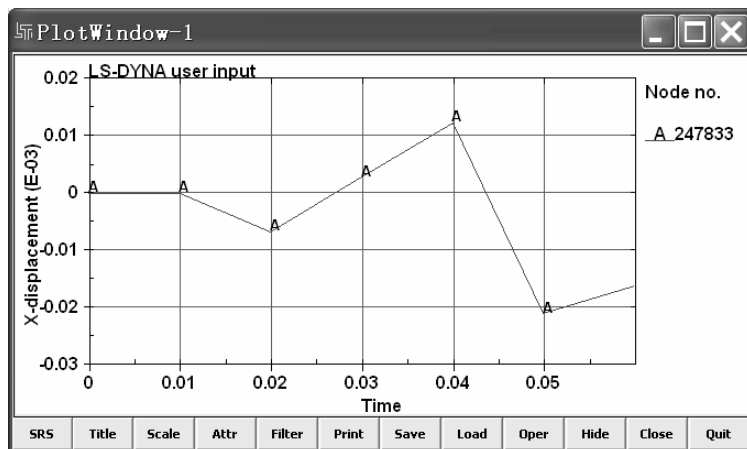


图 10-53 节点的位移随时间的变化曲线

## 10.2 综合实例 2——板壳冲压成型

工业中各种零部件的生产常常涉及板壳冲压成型的问题，如汽车外壳的冲压及电子产品金属外壳的冲压等。LS-DYNA 可以方便地模拟板壳冲压成型的过程，并可以实现各个加工步骤的“自动化”。仿真分析的最大好处是：它可以方便地预测板壳产品的最终形状，进而可以指导模具的设计和改进。同时，仿真分析还可以计算板壳冲压成型过程中所需要的最大冲压力。

**起始文件**

——附带光盘 “Ch10\shell forming.db”

**结果文件**

——附带光盘 “Ch10\shell forming.k”

**动画演示**

——附带光盘 “AVI\Ch10\shell forming.avi”

### 10.2.1 问题描述

如图 10-54 所示，图中有上模、钢带和下模，上、下模沿竖直方向有规律地运动，钢带沿 X 方向间歇移动，模具在钢带上连续地压出许多凹坑。钢带的厚度为 1mm。附带光盘中给出一个起始文件，文件中有上模、钢带及下模的几何模型。要求：设定模型中各部分的运动规律，使模具自动在钢带上压出凹坑，并观察凹坑的成型过程。

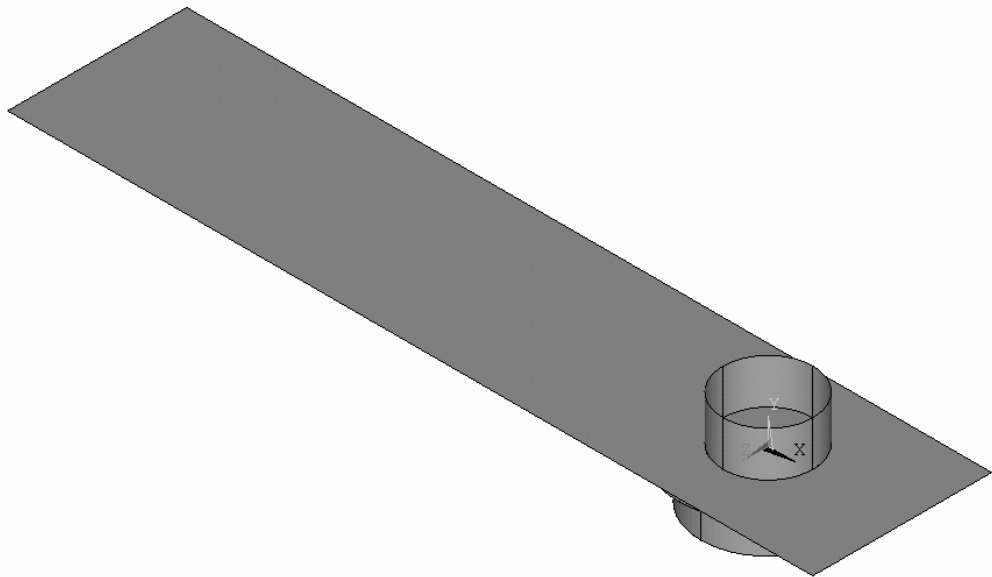


图 10-54 几何模型

问题分析：对于例题中的情况，可以将上、下模设为刚体，并限定它们只能在竖直方向运动。给钢带的四条边加上约束，使其只能沿 X 方向有规律地前进。每生成一个凹坑，钢带需要移动一次，且上、下模需要松开、压紧一次。

将光盘中“Ch10”目录下的“shell forming.db”文件复制到计算机“D:\Ch10\shell forming”目录下。

## 10.2.2 进入 LS-DYNA 前处理器

(1) 在“开始”菜单中指向“ANSYS 14.0”文件夹，出现“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标（见图 10-55）。单击“Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标，弹出“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口（见图 10-56）。

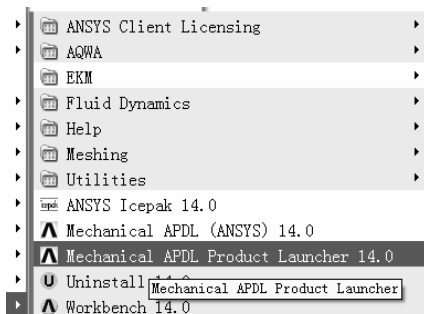


图 10-55 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0”图标

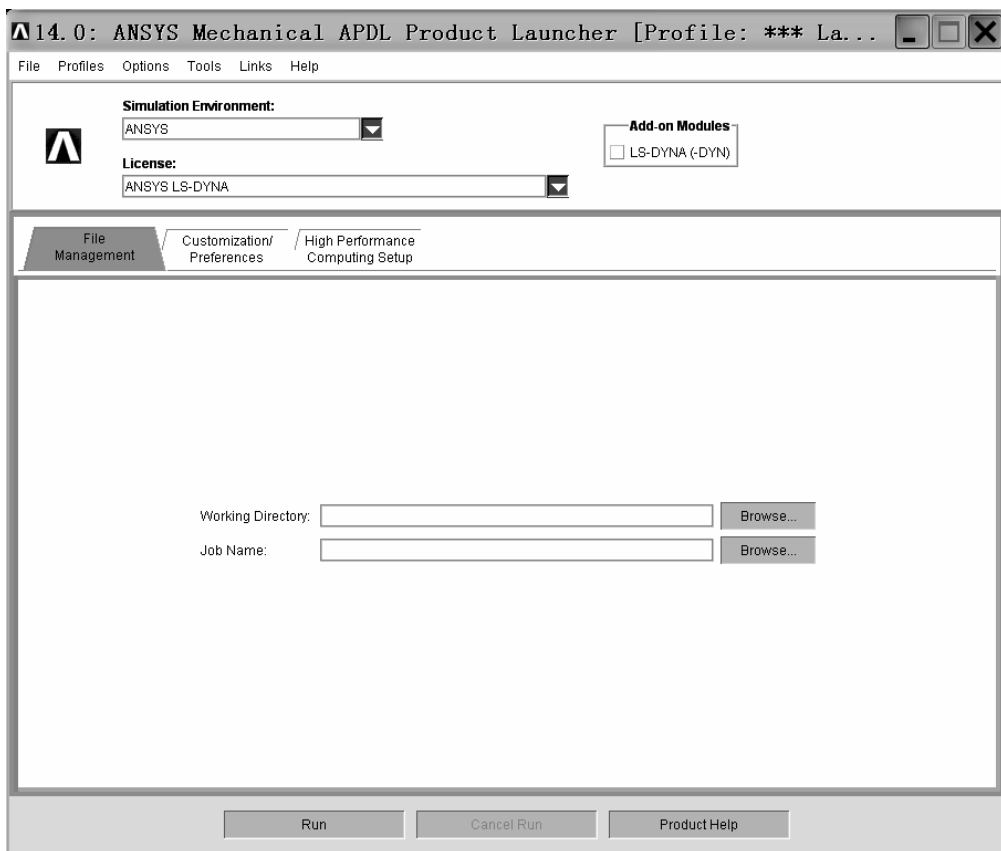


图 10-56 “14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...]”窗口

(2) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“Simulation Environment:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS”。

(3) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中“License:”方框后的倒立三角形图标, 选中“ANSYS LS-DYNA”。

(4) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Working Directory:”方框内找出“D:\Ch10\shell forming”目录。

(5) 在“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Job Name:”方框内找出“D:\Ch10\shell forming”目录中的“shell forming.db”文件。

(6) 单击“14.0: ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [Profile:\*\*\*La...”窗口中的“Run”按钮, 弹出 ANSYS LS-DYNA 操作界面。

(7) 单击 ANSYS LS-DYNA 操作界面左上角处的“OPEN ANSYS File”按钮(见图 10-57), 打开“D:\Ch10\shell forming”目录中的“shell forming.db”文件。打开该文件后, 图形界面中显示出框架结构。

(8) 依次选择 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Colors>Reverse Video, 将图形窗口的背景变为白色, 以便后续操作中更清楚地观看视图(见图 10-58)。

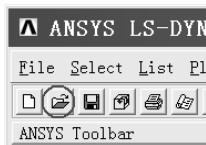


图 10-57 “OPEN ANSYS File”按钮

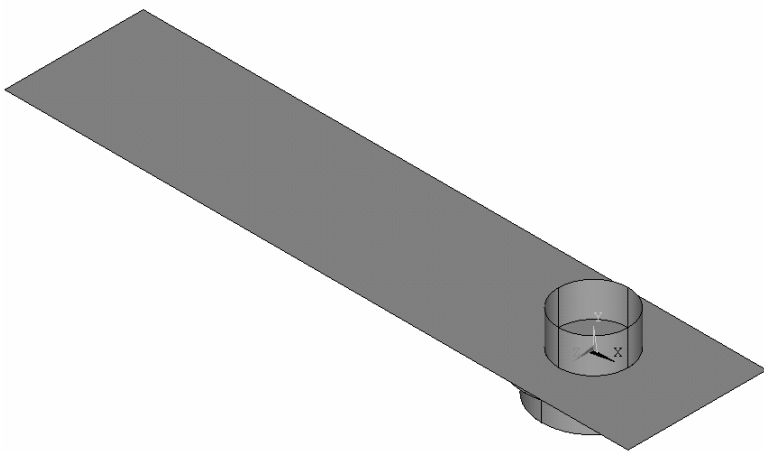


图 10-58 几何模型

### 10.2.3 完善模型

#### 1. 设置单元

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 即先单击 Main 菜单下的“Preprocessor”, 再依次单击“Element Type”→“Add/Edit/Delete”(见图 10-59), 弹出“Element Types”窗口(见图 10-60)。

(2) 单击“Element Types”窗口中的“Add...”按钮, 弹出“Library of Element Types”窗口(见图 10-61)。

(3) 在“Library of Element Types”窗口中的左边方框中用鼠标单击选中“LS-DYNA Explicit”(选中后背景变为蓝色), 在右边方框中用鼠标单击选中“Thin Shell 163”。



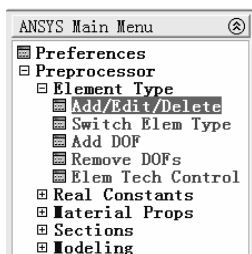


图 10-59 Main 菜单展开

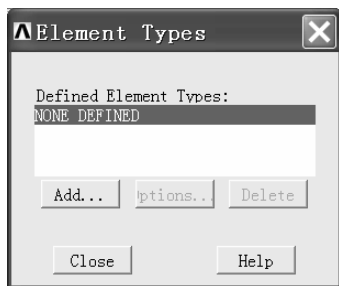


图 10-60 “Element Types” 窗口

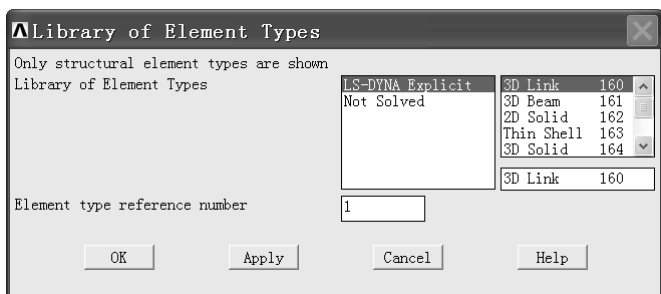


图 10-61 “Library of Element Types” 窗口

(4) 单击“Library of Element Types”窗口中的“OK”按钮。这时“Element Types”窗口中显示已经选好了的单元（见图 10-62）。

(5) 单击“Element Types”窗口中的“Close”按钮。

## 2. 定义材料

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models, 出现“Define Material Model Behavior”窗口（见图 10-63）。

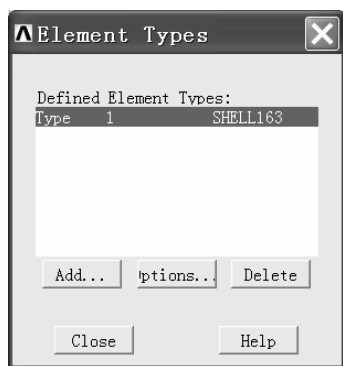


图 10-62 “Element Types” 窗口

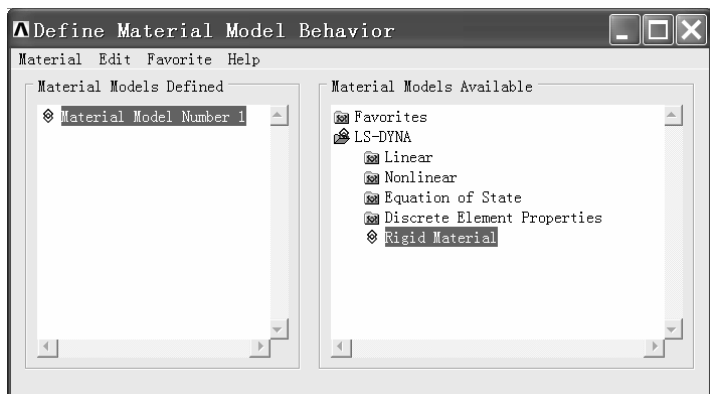


图 10-63 “Define Material Model Behavior” 窗口

(2) 用鼠标左键单击“Define Material Model Behavior”窗口右侧方框中的“LS-DYNA”，继续单击“Rigid Material”，弹出“Rigid Properties for Material N...”窗口。

(3) 在“Rigid Properties for Material N...”窗口中进行如下操作（见图 10-64）：在“DENS”

后的方框中输入“7800”，在“EX”后的方框中输入“2e11”，在“NUXY”后的方框中输入“0.3”，在“Translational Constraint Parameter”后的方框中选择“Z and X disps.”，在“Rotational Constraint Parameter”后的方框中选择“All rotations”，然后单击“OK”按钮。

(4) 单击（如果是 ANSYS10.0 版本，这里需要双击）“Define Material Model Behavior”窗口中右边方框中的“LS-DYNA”文件夹，继续单击“Nonlinear”文件夹，再单击“Inelastic”文件夹，再单击“Isotropic Hardening”，最后单击“Bilinear Isotropic”，出现“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口（见图 10-65）。

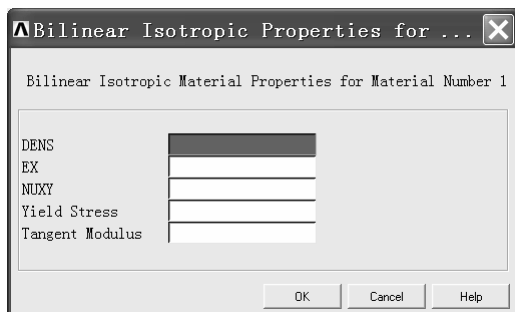
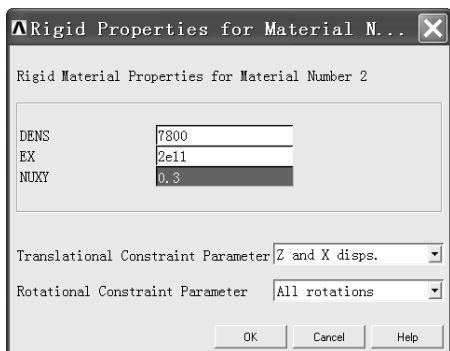


图 10-64 “Rigid Properties for Material N...”窗口 图 10-65 “Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口

(5) 在“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中的“DENS”方框处写入“7850”，“EX”方框处写入“2.1e11”，“NUXY”方框处写入“0.3”，“Yield Stress”方框处写入“2e8”，“Tangent Modulus”方框处写入“2e9”。以上输入表示材料密度为  $7850\text{kg/m}^3$ ，杨氏模量为  $2.1 \times 10^{11}\text{Pa}$ （注意 2.1e11 表示  $2.1 \times 10^{11}$ ），泊松比为 0.3，屈服应力为  $2 \times 10^8\text{Pa}$ ，切线模量为  $2 \times 10^9\text{Pa}$ 。

(6) 单击“Bilinear Isotropic Properties for ...”窗口中的“OK”按钮。

(7) 用鼠标左键单击“Define Material Model Behavior”窗口右侧方框中的“LS-DYNA”，继续单击“Rigid Material”，弹出“Rigid Properties for Material N...”窗口。

(8) 在“Rigid Properties for Material N...”窗口中进行如下操作（见图 10-66）：在“DENS”后的方框中输入“7800”，在“EX”后的方框中输入“2e11”，在“NUXY”后的方框中输入“0.3”，在“Translational Constraint Parameter”后的方框中选择“Z and X disps.”，在“Rotational Constraint Parameter”后的方框中选择“All rotations”，然后单击“OK”按钮。

(9) 单击“Define Material Model Behavior”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

### 3. 胶结几何模型

该步骤用于使上模（或下模）中的各个分块连接在一起。

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas，出现“Glue Areas”窗口（见图 10-67）。

(2) 单击“Glue Areas”窗口中的“Pick All”按钮，将各个模具上的分块“焊接在一起”。

(3) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮（见图 10-68），保存文件。如果看不到“SAVE\_DB”按钮，可以先单击一下“ANSYS Toolbar”。

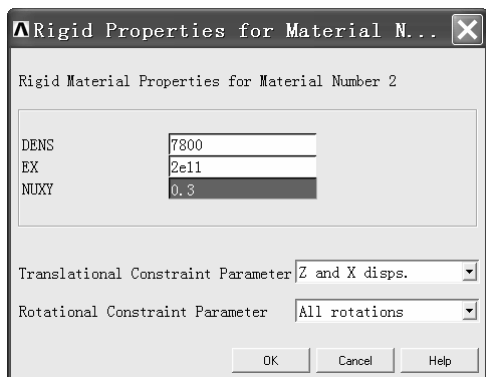


图 10-66 “Rigid Properties for Material N...” 窗口

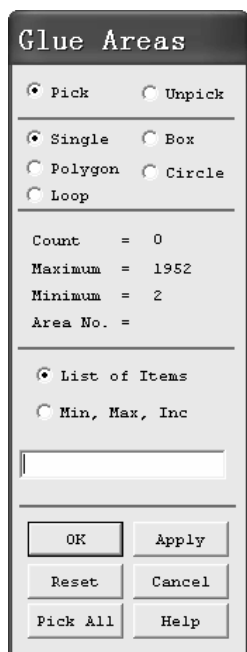


图 10-67 “Glue Areas” 窗口

#### 4. 设置实常数

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Real Constants, 弹出“Real Constants”窗口 (见图 10-69), 单击“Add...”按钮, 弹出“Element Type f...”窗口 (见图 10-70)。用鼠标左键选中“Element Type f...”窗口中方框内的“Type 1 SHELL163”, 然后单击“OK”按钮, 弹出“Real Constant Set Number 1, ...”窗口 (见图 10-71), 然后单击“OK”按钮, 弹出另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口 (见图 10-72)。

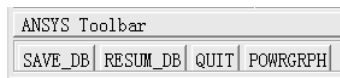


图 10-68 工具条

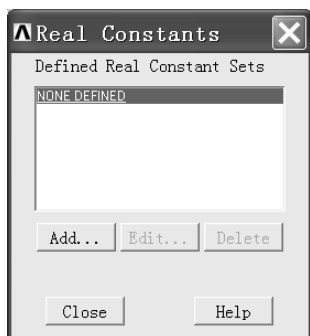


图 10-69 “Real Constants” 窗口

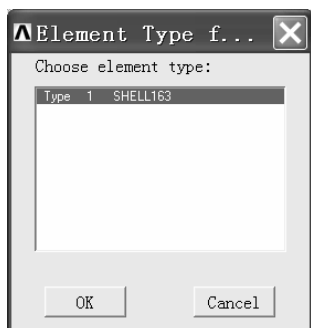


图 10-70 “Element Type f...” 窗口

(2) 在另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...”窗口中“No. of integration pts. NIP”后的方框中输入“5”, 在“Thickness at node 1 T1”后的方框中输入“0.001”, 然后单击“OK”按钮返回到“Real Constants”窗口。

(3) 单击“Real Constants”窗口中的“Close”按钮关闭该窗口。

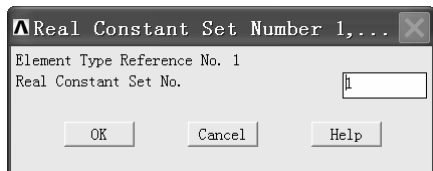


图 10-71 “Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

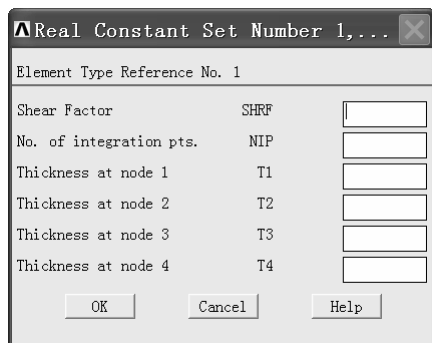


图 10-72 另一种形式的“Real Constant Set Number 1, ...” 窗口

## 10.2.4 划分单元

- (1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“Mesh Tool”窗口。
- (2) 单击“Mesh Tool”窗口中“Lines”后的“Set”按钮, 弹出“Element Si...”窗口(见图 10-73), 单击“Pick All”按钮, 弹出“Element Sizes on Picked Lines”窗口(见图 10-74), 在该窗口“SIZE Element edge length”后的输入框中输入“0.0015”, 然后单击“OK”按钮。

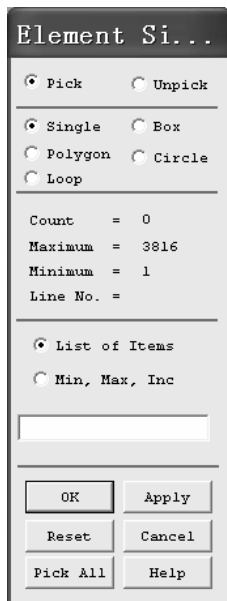


图 10-73 “Element Si...” 窗口

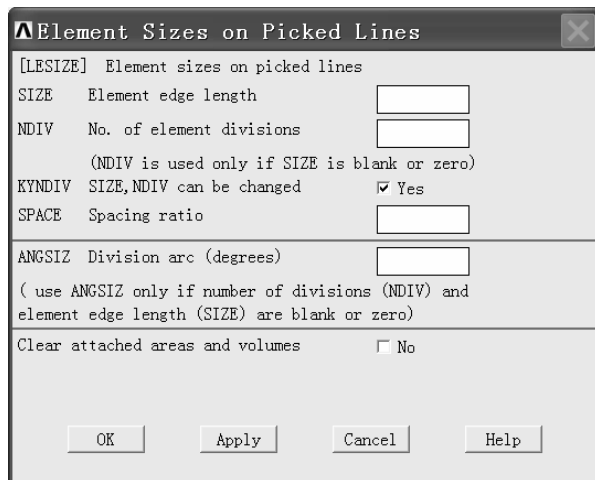


图 10-74 “Element Sizes on Picked Lines” 窗口

- (3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs, 弹出“Meshing Attributes”窗口(见图 10-75)。在该窗口“[TYPE] Element type number”后的方框中选择“1 SHELL163”, 在“[MAT] Material number”后的方框中选择“1”, 然后单击“OK”按钮。单击“SAVE\_DA”按钮(见图 10-76), 保存数据。

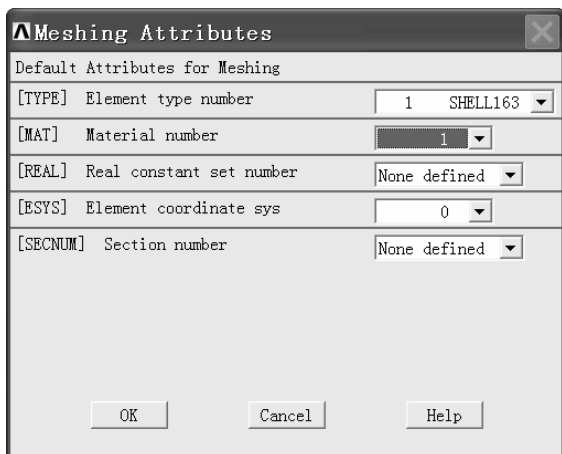


图 10-75 “Meshing Attributes” 窗口

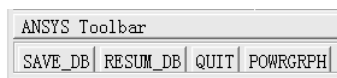


图 10-76 工具条

(4) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“Mesh Tool”窗口 (见图 10-77)。选中“Shape:”后的“Quad”和“Mapped”, 然后单击“Mesh”按钮, 弹出“Mesh Areas”窗口 (见图 10-78), 然后选中该窗口上的“Box”。单击视图工具条中的“Front View”按钮 (见图 10-79), 并用视图工具条中的“Zoom Model”按钮放大上、下模 (见图 10-80)。



图 10-77 “MeshTool” 窗口

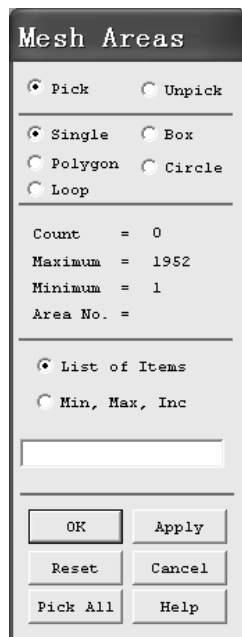


图 10-78 “Mesh Areas” 窗口

(5) 用鼠标“框选”(即按住左键不放, 移动鼠标, 拉出一个方形区域, 把要选的图形包在方形区域里面)上模, 注意不要选到钢带。此时“Mesh Areas”窗口中的“Count”=“8”, 然后单击“OK”按钮 (见图 10-81)。完成上模的网格划分 (见图 10-82)。

(6) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas。



图 10-79 “Front View” 按钮



图 10-80 “Zoom Model” 按钮

(7) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs, 弹出“Meshing Attributes”窗口。在该窗口 “[TYPE] Element type number” 后的方框中选择 “1 SHELL163”, 在 “[MAT] Material number” 后的方框中选择 “3”, 然后单击 “OK” 按钮。

(8) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出 “MeshTool” 窗口。选中 “Shape:” 后的 “Quad” 和 “Mapped”, 然后单击 “Mesh” 按钮, 弹出 “Mesh Areas” 窗口 (见图 10-83), 然后选中该窗口上的 “Box”。

(9) 用鼠标框选下模, 注意不要选到钢带。此时 “Mesh Areas” 窗口中的 “Count” = “12”, 然后单击 “OK” 按钮。完成下模的网格划分 (见图 10-84)。

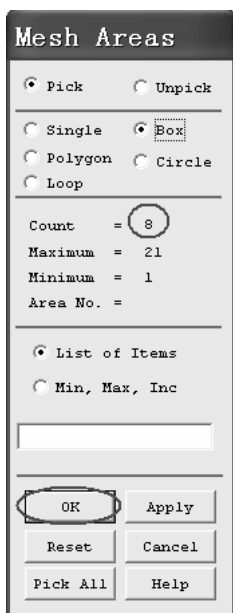


图 10-81 “Mesh Areas” 窗口

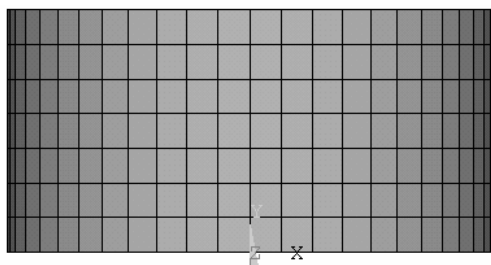


图 10-82 划分网格后的上模

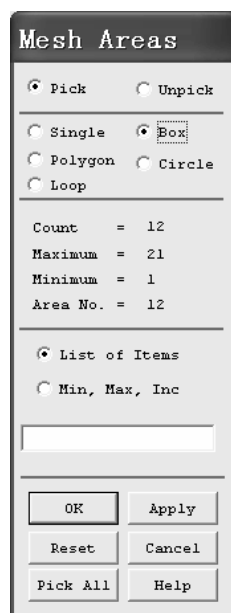


图 10-83 “Mesh Areas” 窗口

(10) 单击视图工具条中的 “Isometric View” 按钮和 “Fit View” (见图 10-85), 图形窗口显示出上、下模的细节 (见图 10-86)。

(11) 依次选择 Utility Menu>Plot>Areas。

(12) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Default Attrs, 弹出 “Meshing Attributes” 窗口。在该窗口 “[TYPE] Element type number” 后的方框中选择 “1 SHELL163”, 在 “[MAT] Material number” 后的方框中选择 “2”, 然后单击 “OK” 按钮。

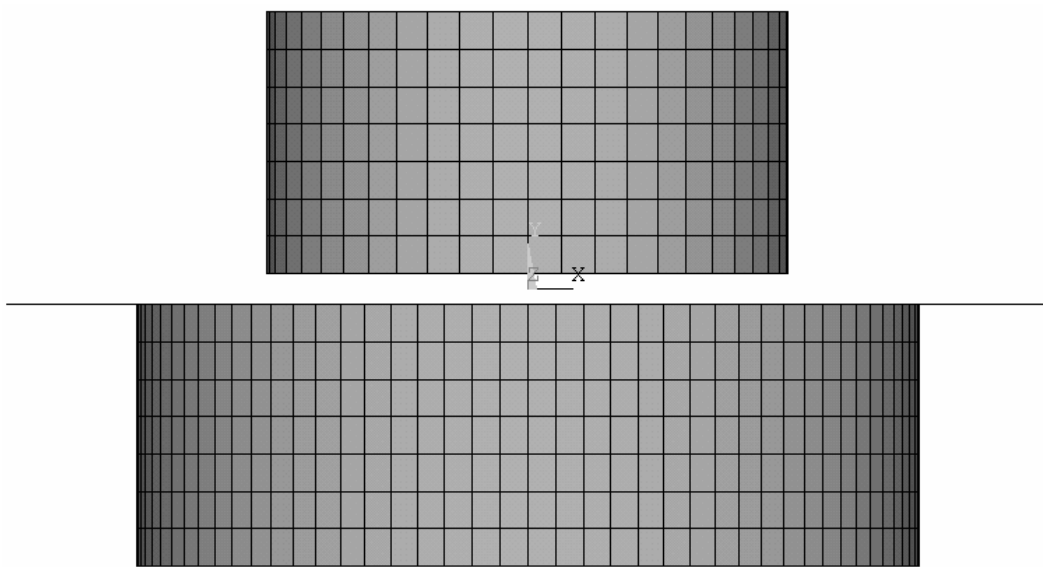


图 10-84 划分网格后的上、下模

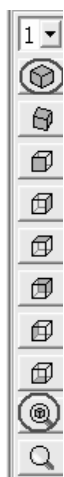


图 10-85 视图工具条

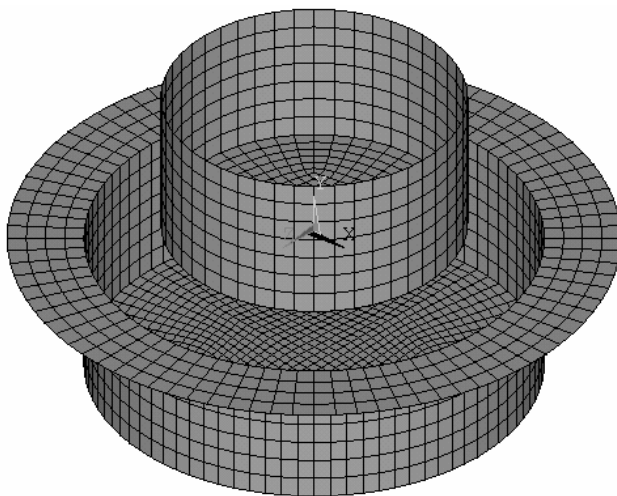


图 10-86 划分网格后的上、下模

(13) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Meshing>MeshTool, 弹出“MeshTool”窗口。选中“Shape:”后的“Quad”和“Mapped”, 然后单击“Mesh”按钮, 弹出“Mesh Areas”窗口, 单击选中钢带, 然后单击“OK”按钮。模型网格划分完成(见图 10-87)。

## 10.2.5 工况设置

### 1. 生成 Part

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Parts Options, 弹出“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口(见图 10-88)。

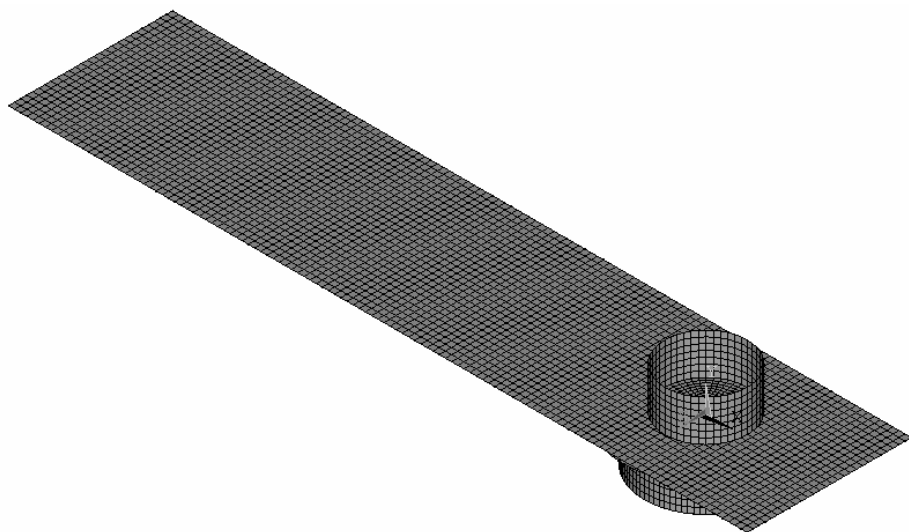


图 10-87 模型完成网格划分

(2) 保持“Parts Data Written for LS-DYNA”窗口的默认设置不变，单击该窗口中的“OK”按钮，弹出“EDPART Command”窗口（见图 10-89）。其中，上模为“Part1”，下模为“Part2”，钢带为“Part3”。

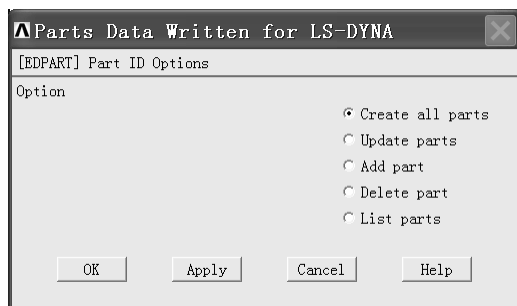


图 10-88 “Parts Data Written for LS-DYNA”窗口

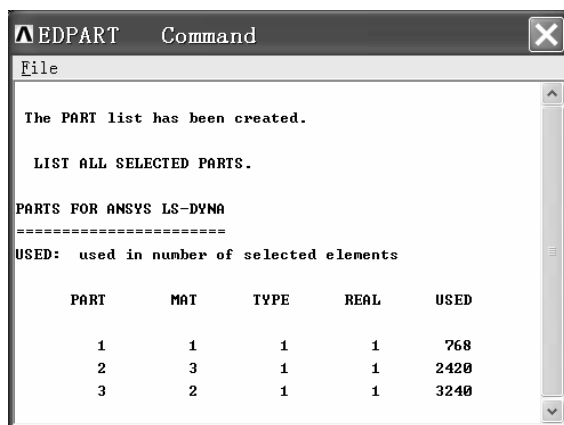


图 10-89 “EDPART Command”窗口

(3) 单击“EDPART Command”窗口右上角的叉号关闭该窗口。

## 2. 生成 Component

此处建立 Component 的作用是：取出钢带四条边上的节点，建立一个 Component 用于施加沿 X 方向的位移载荷。当然，这个 Component 也将用于限制钢带的四边沿 Y、Z 方向的运动。上、下模为钢体，故对上、下模施加载荷不需要额外设置 Component。

(1) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities..., 弹出“Sele...”窗口（见图 10-90）。在该窗口的第一个方框中选择“Lines”，在第二个方框中选择“By Num/Pick”，再选中“From Full”前的单选框，然后单击“OK”按钮，弹出“Select lines”窗口（见图 10-91）。选中钢带的四条边，然后单击“OK”按钮。



(2) 依次选择 Utility Menu>Select>Entities..., 弹出“Selec...”窗口(见图 10-92)。在该窗口的第一个方框中选择“Nodes”, 在第二个方框中选择“Attached to”, 再选中“Lines, all”前的单选框, 再选中“From Full”, 然后单击“OK”按钮。

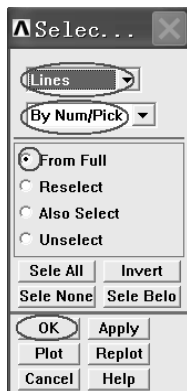


图 10-90 “Selec...”窗口

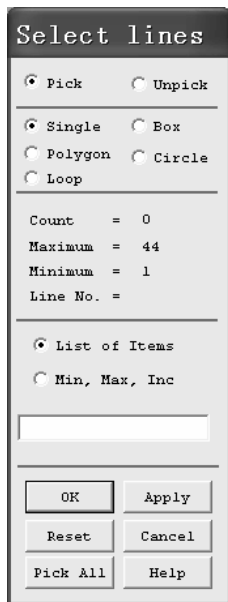


图 10-91 “Slecte lines”窗口

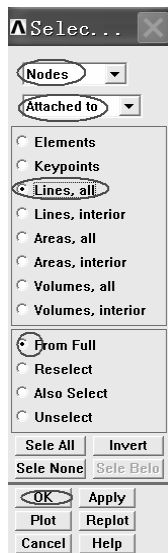


图 10-92 “Selec...”窗口

(3) 依次选择 Utility Menu>Comp/Assembly>Create Component..., 弹出“Create Component”窗口(见图 10-93)。在“Component name”后的方框中输入“sh”, 在“Entity Component is made of”后的方框中选择“Nodes”, 然后单击“OK”按钮。

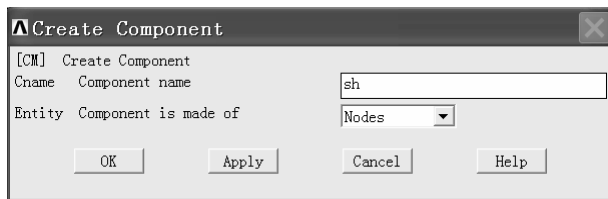


图 10-93 “Create Component”窗口

(4) 依次选择 Utility Menu>Select>Everything (很重要, 千万别忘了)。

### 3. 建立载荷数组

建立载荷数组有三个作用: 第一, 设定上模的运动; 第二, 设定下模的运动; 第三, 设定钢带四边的约束及沿 X 方向的运动。

(1) 依次选择 Utility Menu>Parameters>Array Parameters>Define/Edit..., 弹出“Array Parameters”窗口(见图 10-94)。

(2) 单击“Array Parameters”窗口中的“Add...”按钮, 弹出“Add New Array Parameter”窗口(见图 10-95)。在“Parameter name”后的方框中输入“TIME”, 即给数组取个名字, 然后单击“Apply”按钮。

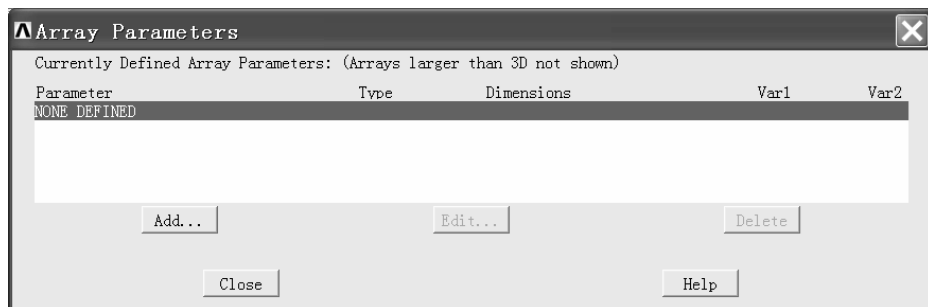


图 10-94 “Array Parameters” 窗口

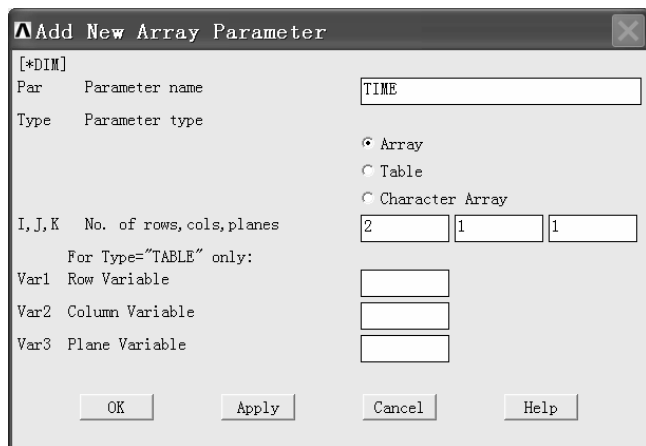


图 10-95 “Add New Array Parameter” 窗口

(3) 继续在该窗口“Parameter name”后的方框中输入“DISY”（钢带四边沿 Y 方向的位移，本例中该位移被约束），然后单击“Apply”按钮。

(4) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“DISZ”（钢带四边沿 Z 方向的位移，本例中该位移被约束），然后单击“Apply”按钮。

(5) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“TIMEX”，在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“10”，然后单击“Apply”按钮。

(6) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“DISX”（钢带四边沿 X 方向的位移），在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“10”，然后单击“Apply”按钮。

(7) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“UPMO”（代表上模的位移）。在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“10”，然后单击“Apply”按钮。

(8) 继续在“Parameter name”后的方框中输入“DOWNMO”（代表下模的位移），在“No. of rows, cols, planes”后的第一个方框中输入“10”，然后单击“OK”按钮返回到“Array Parameters”窗口（见图 10-96）。

(9) 用鼠标左键单击“Array Parameters”窗口中的“TIME”，“TIME”背景变为蓝色，表示被选中，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter TIME”窗口。

(10) 如图 10-97 所示，在“Array Parameter TIME”窗口左下方的两个方框中依次填入“0”、“1”。

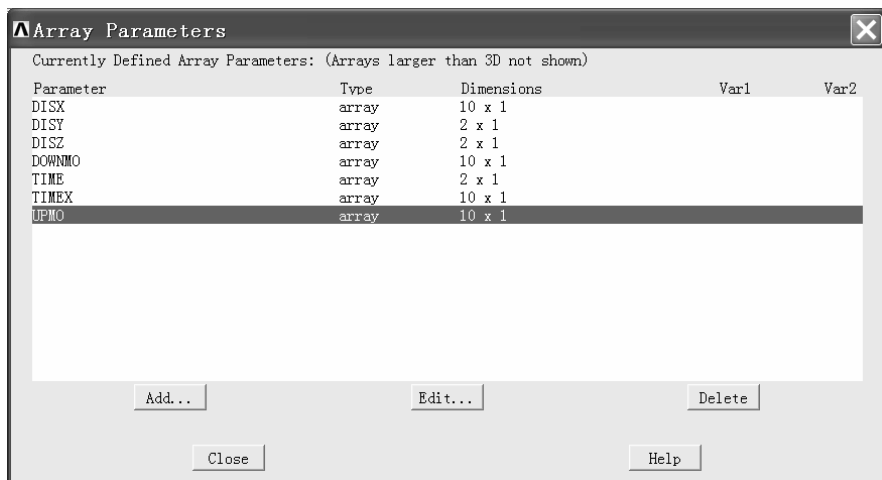


图 10-96 “Array Parameters” 窗口

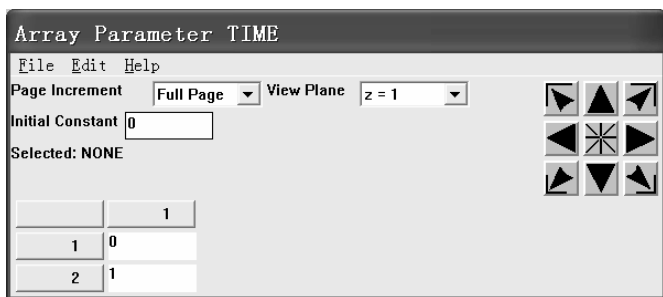


图 10-97 “Array Parameter TIME” 窗口

(11) 单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter TIME”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(12) 用鼠标左键单击“Array Parameters”窗口中的“DISY”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter DISY”窗口。

(13) 单击“Array Parameter DISY”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter DISY”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(14) 用鼠标左键单击“Array Parameters”窗口中的“DISZ”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter DISZ”窗口。

(15) 单击“Array Parameter DISZ”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter DISZ”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(16) 用鼠标左键单击“Array Parameters”窗口中的“TIMEX”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter TIMEX”窗口。

(17) 如图 10-98 所示，在“Array Parameter TIMEX”窗口左下方的 10 个方框中依次填入“0”、“0.0005”、“0.001”、“0.0015”、“0.002”、“0.0025”、“0.003”、“0.0035”、“0.004”

“0.0045”。

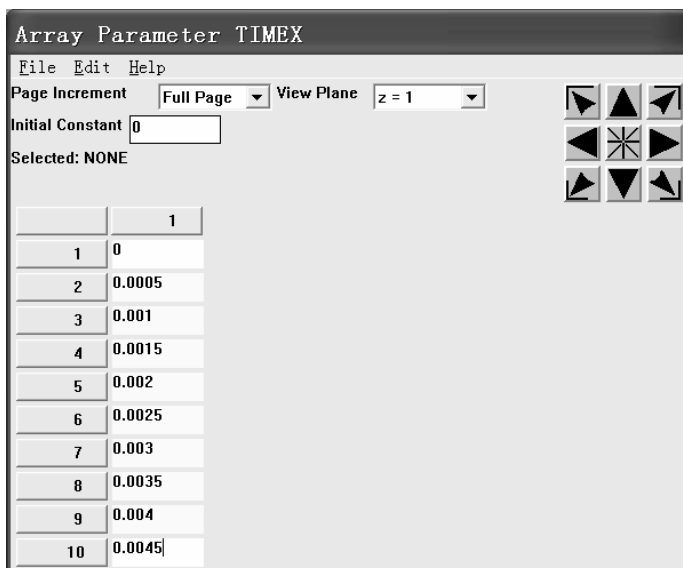


图 10-98 “Array Parameter TIMEX” 窗口

(18) 单击“Array Parameter TIMEX”窗口左上角的“File”下拉菜单，再单击下拉菜单中出现的“Apply”，再次单击“Array Parameter TIMEX”窗口左上角的“File”下拉菜单，接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(19) 用鼠标左键单击选中“Array Parameters”窗口中的“DISX”，然后单击“Edit...”按钮，弹出“Array Parameter DISX”窗口（见图 10-99）。在“Array Parameter DISX”窗口左下方的 10 个方框中依次填入“0”、“0”、“0”、“0”、“0.06”、“0.06”、“0.06”、“0.06”、“0.06”、“0.12”。

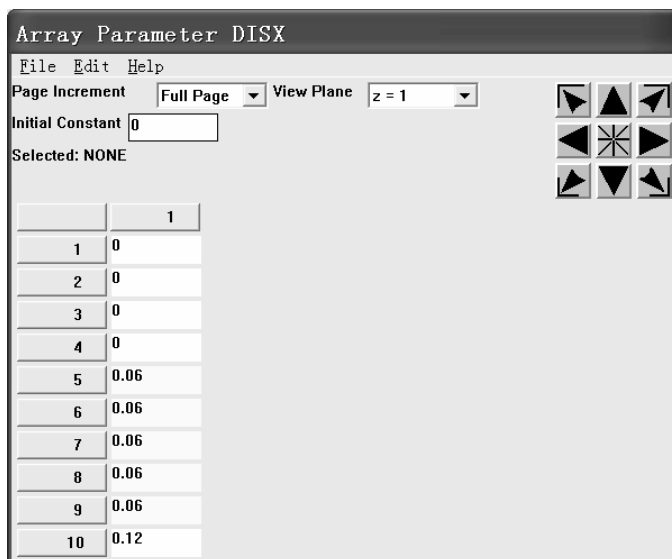


图 10-99 “Array Parameter DISX” 窗口

(20) 单击“Array Parameter DISX”窗口左上角的“File”下拉菜单,再单击下拉菜单中出现的“Apply”,再次单击“Array Parameter DISX”窗口左上角的“File”下拉菜单,接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(21) 用鼠标左键单击选中“Array Parameters”窗口中的“UPMO”,然后单击“Edit...”按钮,弹出“Array Parameter UPMO”窗口(见图 10-100)。在“Array Parameter UPMO”窗口左下方的 10 个方框中依次填入“0”、“-0.005”、“0”、“0”、“0”、“0”、“-0.005”、“0”、“0”、“0”。

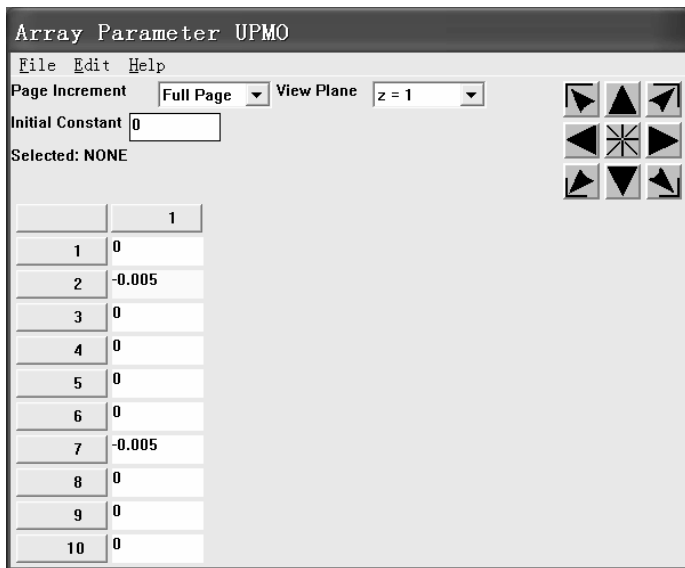


图 10-100 “Array Parameter UPMO”窗口

(22) 单击“Array Parameter UPMO”窗口左上角的“File”下拉菜单,再单击下拉菜单中出现的“Apply”,再次单击“Array Parameter UPMO”窗口左上角的“File”下拉菜单,接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(23) 用鼠标左键单击选中“Array Parameters”窗口中的“DOWNMO”,然后单击“Edit...”按钮,弹出“Array Parameter DOWNMO”窗口(见图 10-101)。在“Array Parameter DOWNMO”窗口左下方的 10 个方框中依次填入“0”、“0”、“0”、“-0.005”、“-0.005”、“0”、“0”、“0”、“-0.005”、“-0.005”。

(24) 单击“Array Parameter DOWNMO”窗口左上角的“File”下拉菜单,再单击下拉菜单中出现的“Apply”,再次单击“Array Parameter DOWNMO”窗口左上角的“File”下拉菜单,接着单击下拉菜单中出现的“Quit”返回到“Array Parameters”窗口。

(25) 单击“Array Parameters”窗口中的“Close”按钮关闭该窗口。

#### 4. 施加载荷

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Loading Options>Specify Loads,弹出“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口。

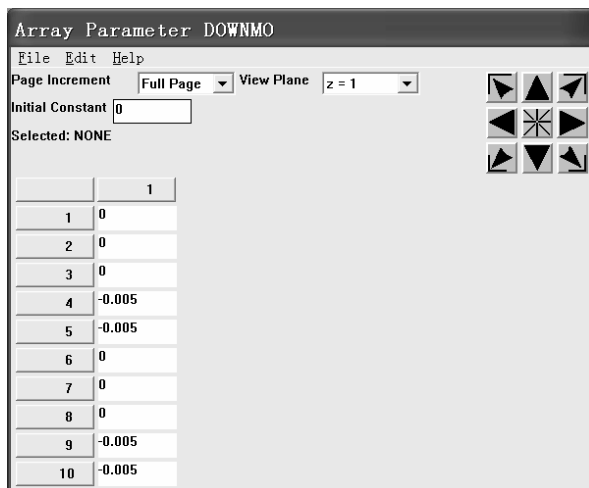


图 10-101 “Array Parameter DOWNMO” 窗口

(2) 如图 10-102 所示, 在 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口中 “Load Labels” 后的方框中选择 “UY”, 在 “Component name or PART number:” 后选择 “SH”, 在 “Parameter name for time values:” 后选择 “TIME”, 在 “Parameter name for data values:” 后选择 “DISY”, 然后单击 “APPLY” 按钮。图形界面上显示出施加在钢带四边 (沿 Y 方向) 的位移约束 (见图 10-103, 注意这里是使用施加位移载荷的方式来代替约束的)。

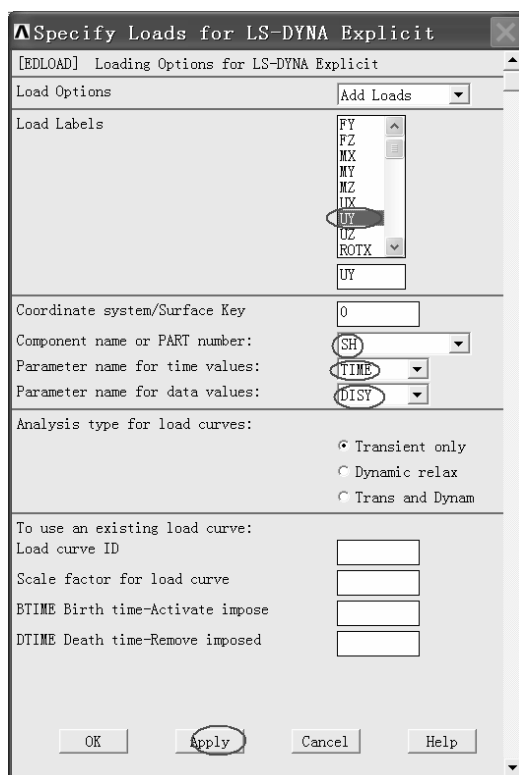


图 10-102 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit” 窗口

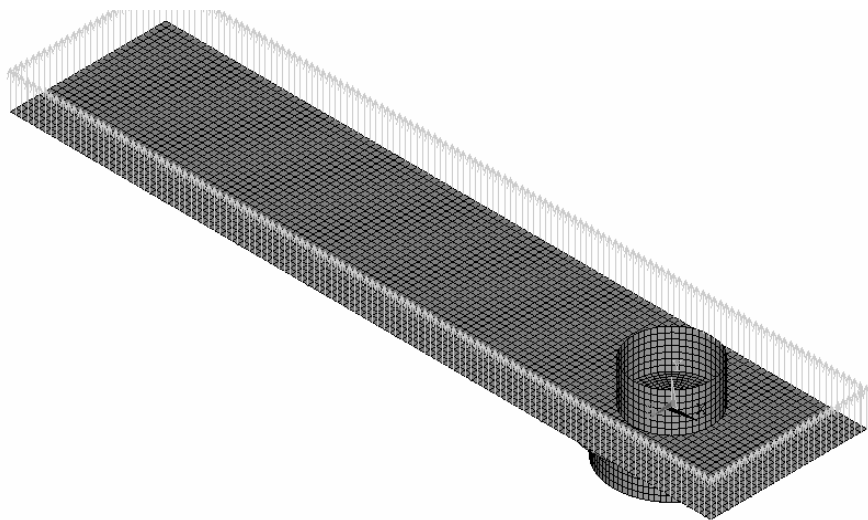


图 10-103 钢带四边受到的位移载荷

(3) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口“Load Labels”后的方框中选择“UZ”，在“Component name or PART number:”后选择“SH”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIME”，在“Parameter name for data values:”后选择“ZDIS”，然后单击“APPLY”按钮。图形界面上显示出施加在钢带四边（沿 Z 方向）的位移约束（见图 10-104）。

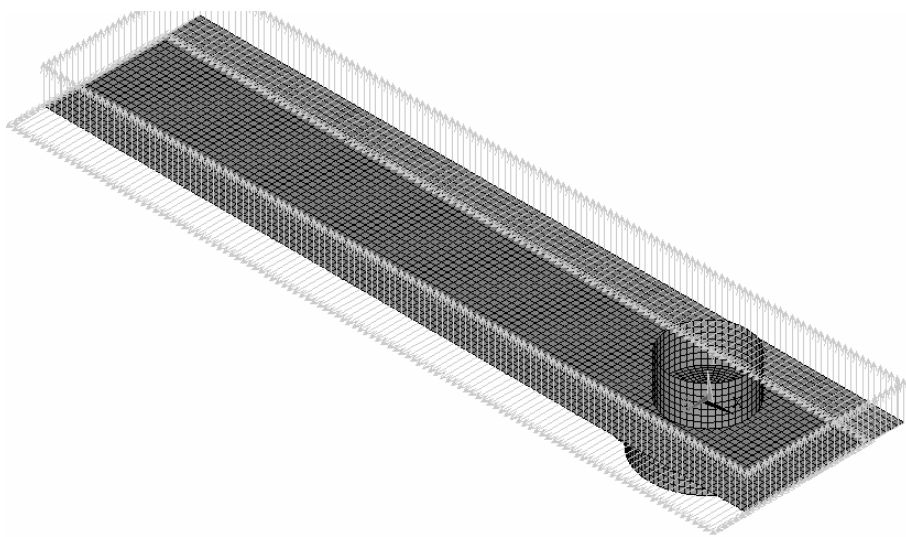


图 10-104 钢带四边受到的位移载荷

(4) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口“Load Labels”后的方框中选择“UX”，在“Component name or PART number:”后选择“SH”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIMEX”，在“Parameter name for data values:”后选择“DISX”，然后单击“APPLY”按钮。图形界面上显示出施加在钢带四边（沿 X 方向）的位移载荷（见图 10-105）。

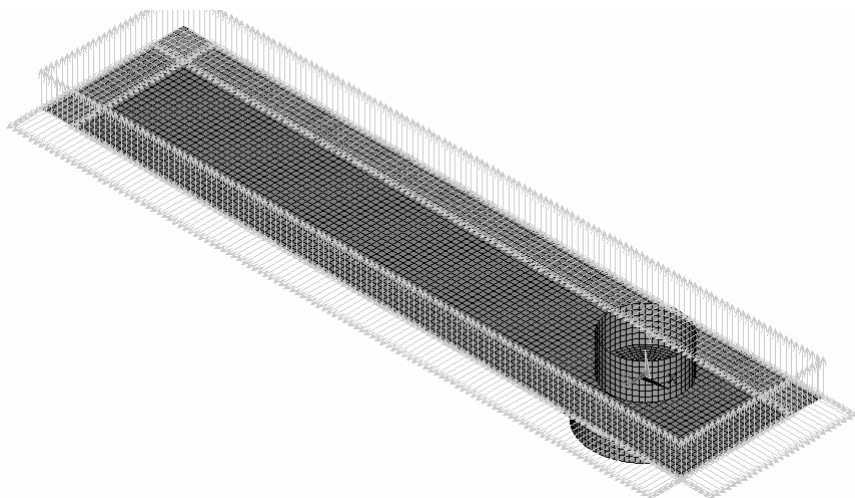


图 10-105 钢带四边受到的位移载荷

(5) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口“Load Labels”后的方框中选择“RBUY”，在“Component name or PART number:”后选择“1”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIMEX”，在“Parameter name for data values:”后选择“UPMO”（见图 10-106），然后单击“APPLY”按钮。图形界面上显示出施加给上模的沿 Y 方向的位移载荷（见图 10-107）。

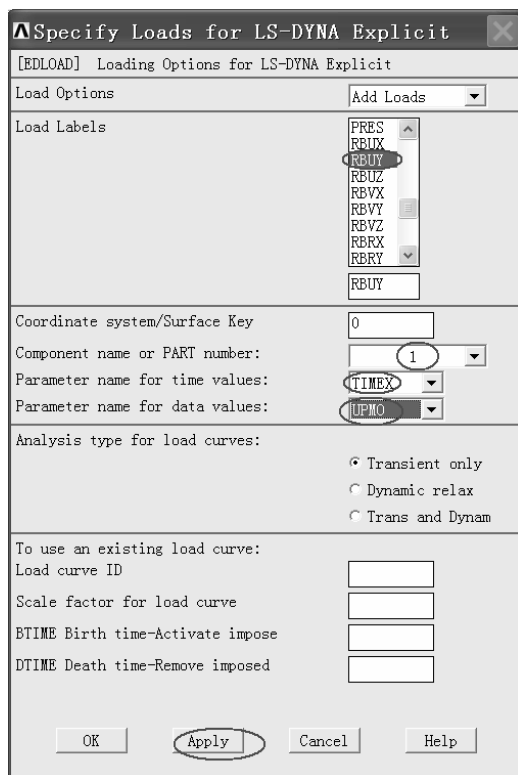


图 10-106 “Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口



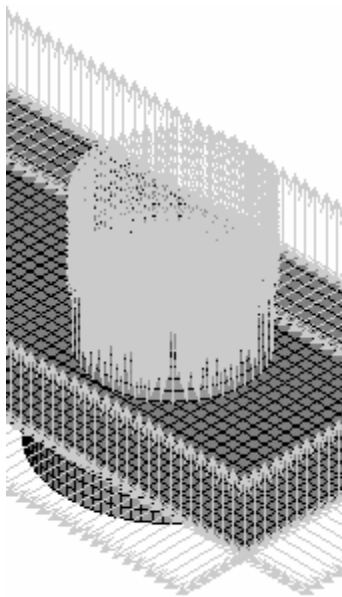


图 10-107 上模受到的位移载荷

(6) 继续在“Specify Loads for LS-DYNA Explicit”窗口“Load Labels”后的方框中选择“RBUY”，在“Component name or PART number:”后选择“2”，在“Parameter name for time values:”后选择“TIMEX”，在“Parameter name for data values:”后选择“DOWNMO”，然后单击“OK”按钮。

### 5. 定义接触

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>LS-DYNA Options>Contact>Define Contact，弹出“Contact Parameter Definitions”窗口（见图 10-108）。

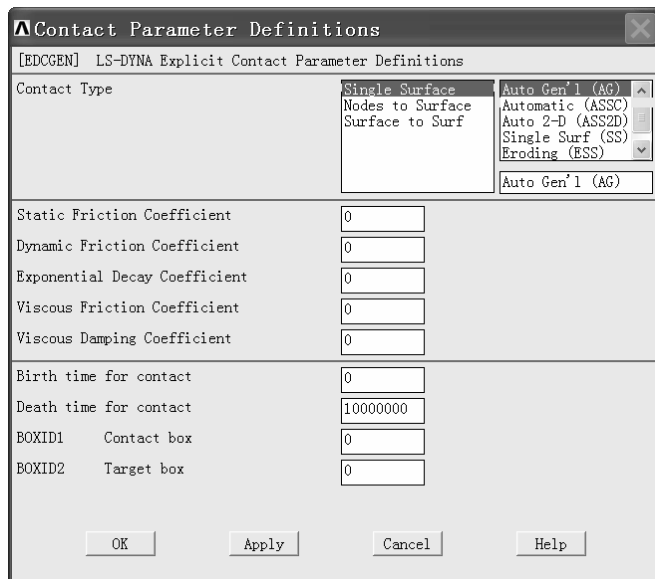


图 10-108 “Contact Parameter Definitions” 窗口

(2) 在“Contact Parameter Definitions”窗口中“Contact Type”后的第一个方框中选择“Single Surface”，在“Contact Type”后的第二个方框中选择“Automatic (ASSC)”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

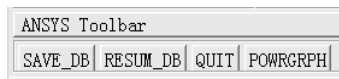


图 10-109 工具条

(3) 单击操作界面左上角工具条中的“SAVE\_DB”按钮（见图 10-109），保存文件。

## 10.2.6 求解设置

### 1. 输出控制

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Time Controls>Solution Time，弹出“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口（见图 10-110）。

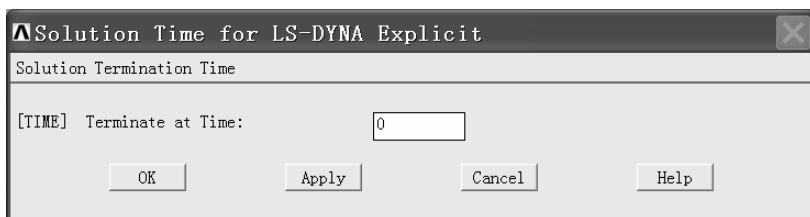


图 10-110 “Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口

(2) 在“Solution Time for LS-DYNA Explicit”窗口中“[TIME] Terminate at Time:”后的方框中输入“0.0045”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(3) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>Output File Types，弹出“Specify Output File Types for LS-D...”窗口（见图 10-111）。

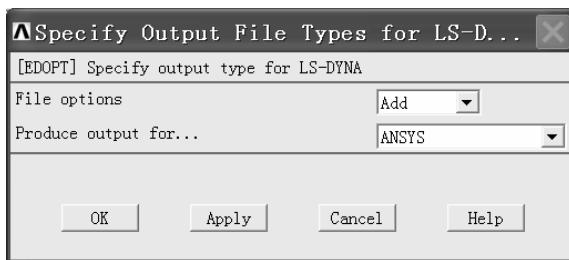


图 10-111 “Specify Output File Types for LS-D...”窗口

(4) 在“Specify Output File Types for LS-D...”窗口中“File options”后的方框中选择“Add”，在“Produce output for...”后的方框中选择“LS-DYNA”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

(5) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Output Controls>File Output Freq>Number of Steps，弹出“Specify File Output Frequency”窗口（见图 10-112）。

(6) 在“Specify File Output Frequency”窗口中“[EDRST] Specify Results File Output Interval:”后的方框中输入“20”，在“[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:”后的方框中输入“100”，然后单击该窗口中的“OK”按钮。

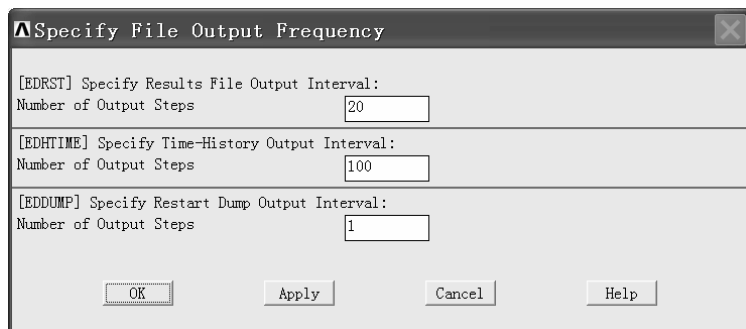


图 10-112 “Specify File Output Frequency” 窗口

## 2. 生成 K 文件

(1) 依次选择 Main Menu>Preprocessor>Solution>Write Jobname.k, 弹出 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 10-113)。

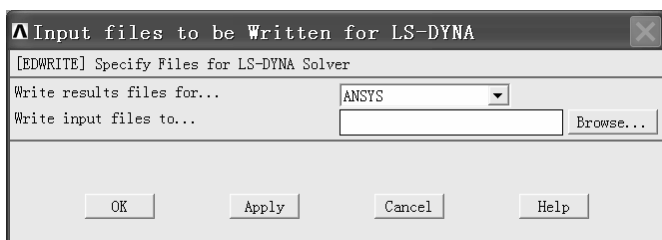


图 10-113 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(2) 在 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中 “Write results files for...” 后的方框中选择 “LS-DYNA” (单击该方框后的倒立三角形来选择)。再单击 “Write input files to...” 后的 “Browse...” 按钮, 弹出 “Write input files to...” 窗口 (见图 10-114)。

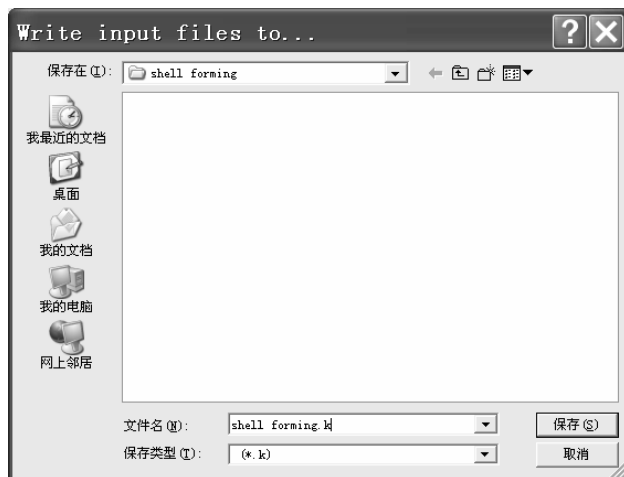


图 10-114 “Write input files to...” 窗口

(3) 在 “Write input files to...” 窗口中 “文件名 (N):” 后的方框中输入 “shell forming.k”, 然后单击 “保存” 按钮, 返回到 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口 (见图 10-115)。

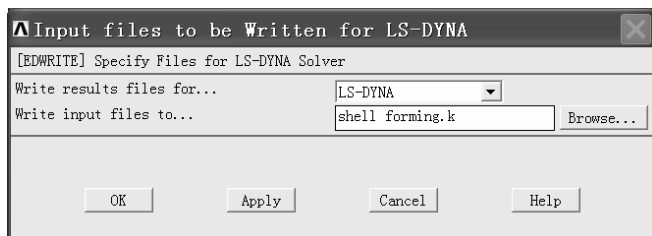


图 10-115 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口

(4) 单击 “Input files to be Written for LS-DYNA” 窗口中的 “OK” 按钮，弹出 “EDWRITE Command” 窗口（见图 10-116）。

(5) 单击 “EDWRITE Command” 窗口右上角的叉号关闭该窗口。

(6) 单击操作界面右上角的叉号关闭整个操作界面，弹出 “Exit from ANSYS” 窗口（见图 10-117）。

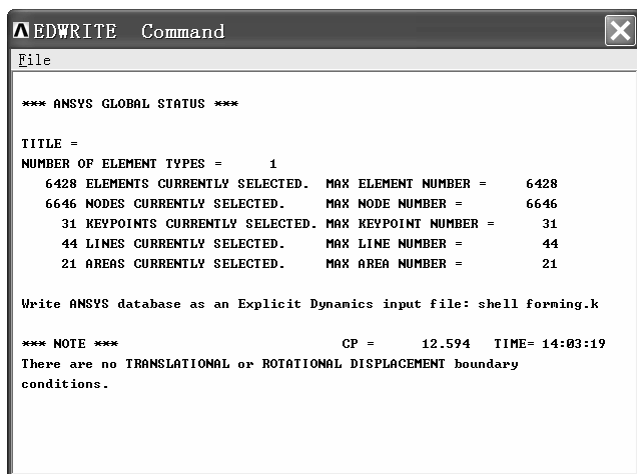


图 10-116 “EDWRITE Command” 窗口

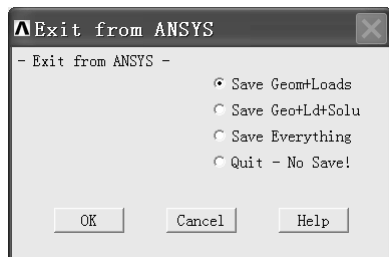


图 10-117 “Exit from ANSYS” 窗口

(7) 选中 “Exit from ANSYS” 窗口中 “Save Everything” 前面的单选框，再单击该窗口中的 “OK” 按钮。

### 3. 求解

(1) 打开 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口（见图 10-118）。其实该窗口前面已经打开，只需单击桌面下方任务栏中该窗口的最小化图标使该窗口显示出来即可。如果前面已将该窗口关闭，可以用 “开始” 菜单中的 “ANSYS 14.0” 文件夹下的 “Mechanical APDL Product Launcher 14.0” 图标打开（单击此图标）。

(2) 单击 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口中 “Simulation Environment:” 方框后的倒立三角形图标，选中 “LS-DYNA Solver”。

(3) 单击 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口中 “License:” 方框后的倒立三角形图标，选中 “ANSYS LS-DYNA”。

(4) 选中 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口中 “Analysis Type” 方框后的 “Typical LS-DYNA Analysis” 按钮。

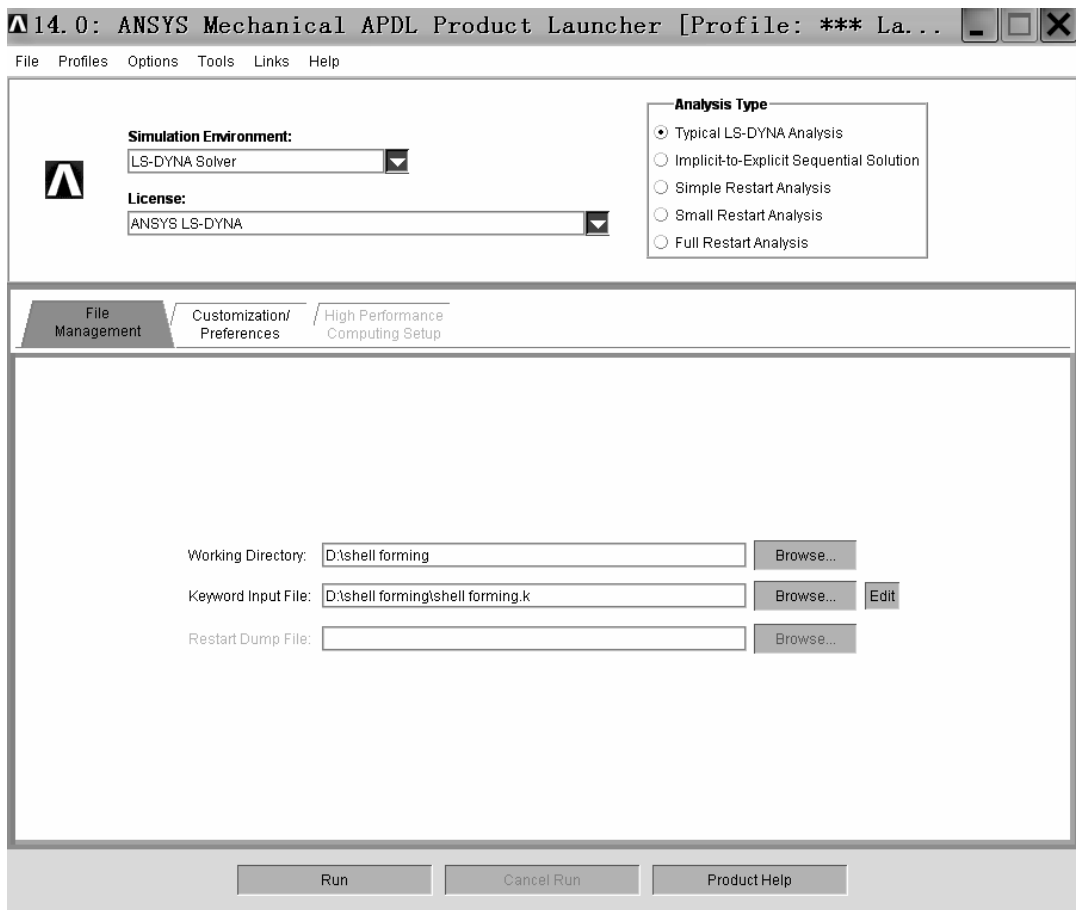


图 10-118 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口

(5) 在“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Working Directory:”方框内输入“d:\shell forming”。

(6) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Keyword Input File”方框后的“Browse...”按钮，弹出“Select Keyword Input File”窗口（见图 10-119）。

(7) 在“Select Keyword Input File”窗口中找到“d:\shell forming”目录下的“shell forming.k”文件，用鼠标单击该文件后单击“打开”按钮。

(8) 单击“14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...”窗口中的“Customization/Preferences”，如图 10-120 所示，在“Memory(words):”后填入“300 000 000”，然后单击“OK”按钮。

(9) 屏幕弹出显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口（见图 10-121）。

### 10.2.7 后处理

待计算完成后（只完成了部分计算也可以），用 LS-PREPOST 打开计算结果。

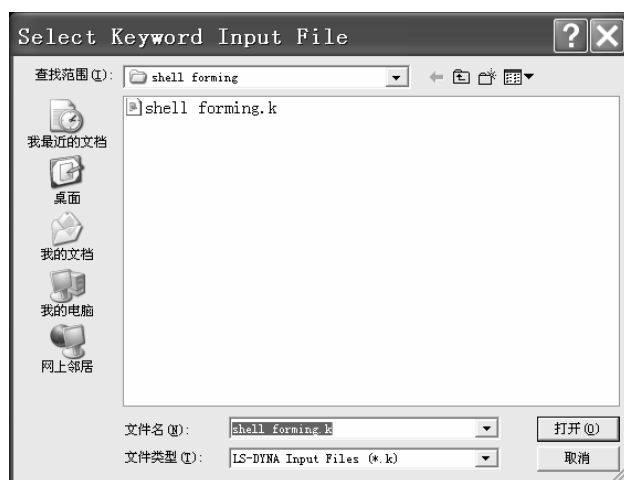


图 10-119 “Select Keyword Input File” 窗口

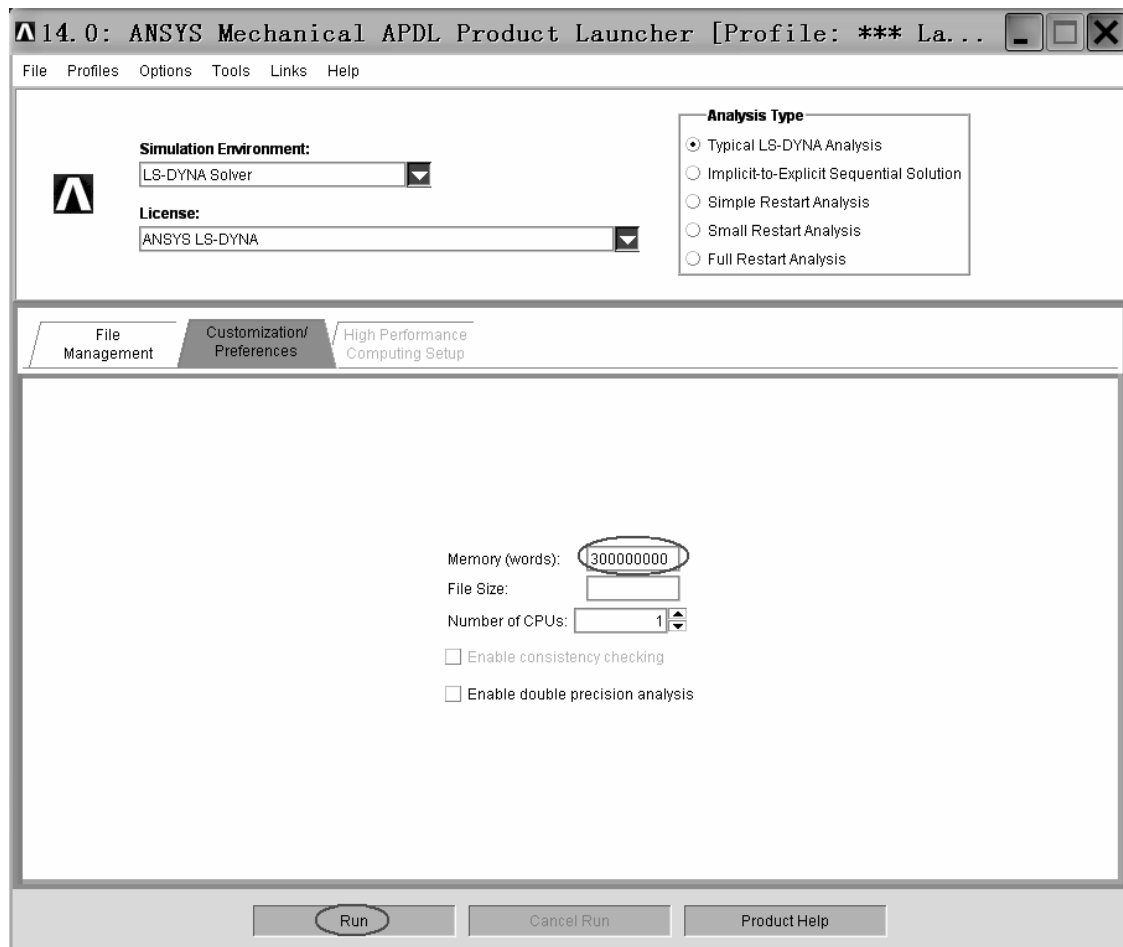


图 10-120 “14.0 Mechanical APDL ANSYS Product Launcher [Profile: \*\*\* La...” 窗口

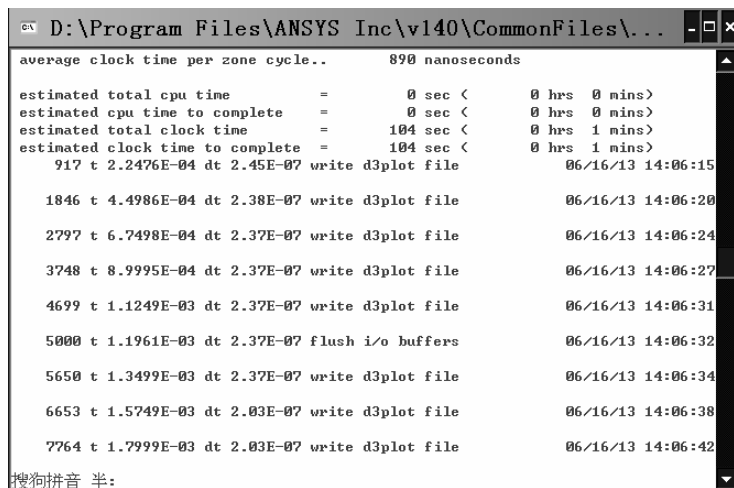


图 10-121 显示计算过程的“D:\Program Files\ANSYS Inc\v140\CommonFiles\...”窗口

(1) 用鼠标左键双击 LS-PREPOST 软件的启动图标 (见图 10-122), 打开操作界面。

(2) 用鼠标左键单击操作界面左上角的“File”, 再将光标指向“Open”, 然后单击“LS-DYNA Binary Plot Ctrl+B”, 最后找出“D:\Ch10\shell forming”目录下的“d3plot”文件。打开该文件后, 图形窗口出现几何模型 (见图 10-123)。



图 10-122 LS-PREPOST

启动图标

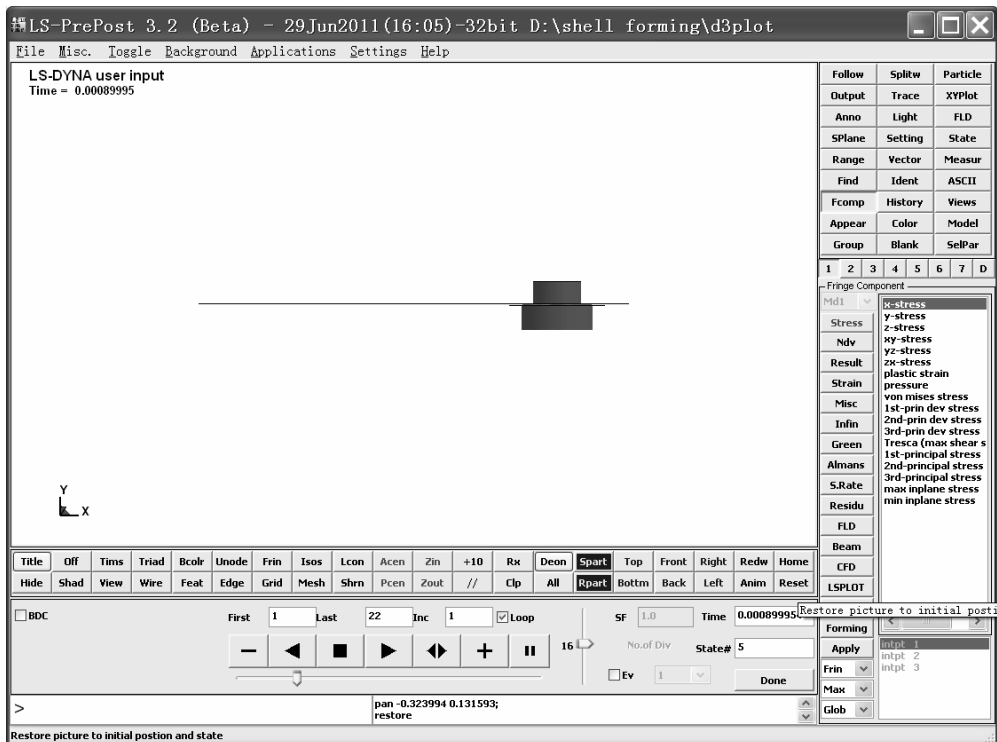


图 10-123 几何模型

(3) 调整视图的方位，观察应力云图的动画。板壳的成型过程如图 10-124 所示。

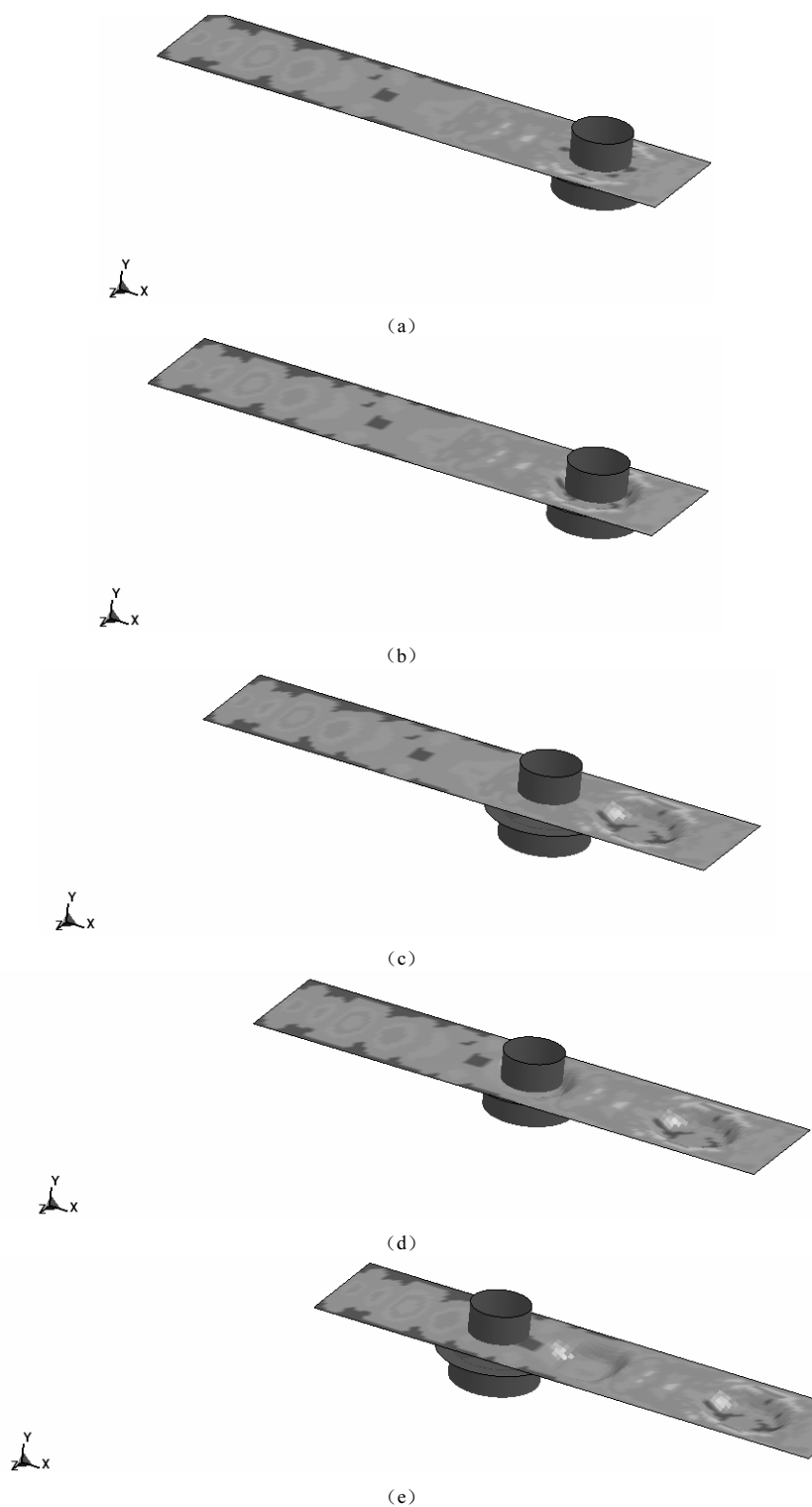


图 10-124 钢带成型过程



## 10.3 小结

本章结合工程实例细致地演示了 ANSYS LS-DYNA 软件的前处理过程。作者介绍了选取节点（用于建立 Component）的高效方法。例题重点介绍了同时施加多个载荷的方法。利用这种方法，读者可以方便地设置模型之间的关联运动。总之，本章内容具有很强的综合性，且相应的例题都给出了详尽的操作步骤。读者应当对本章例题进行反复练习，直至可以举一反三，运用自如为止。